

钢丝缠绕胶管结构等行程设计法

张明武

(山东龙口特种胶管厂 265709)

摘要 通过对钢丝缠绕胶管管体的受力分析, 得出管体直径、长度与缠绕角度、钢丝伸长率之间变化关系的数学表达式, 以此来研究管体施工参数与爆破参数的关系, 进而推导出使管体施工行程与爆破行程相等的施工行程计算公式, 提出钢丝缠绕胶管的结构等行程设计方法。采用这种结构设计方法设计制造的胶管, 承受内压后管体轴向变形小, 爆破压力高, 可降低材料消耗, 而且设计简单, 制造方便。

关键词 钢丝缠绕胶管, 结构, 等行程设计方法, 爆破压力

从骨架材料的设置角度看, 钢丝缠绕胶管的结构设计方法分为以下 3 种: ①各缠绕层钢丝缠绕角度相同, 均为中性角, 而各缠绕层的行程不同, 称为中性角结构设计法; ②用缠绕层的计算直径按中性角计算行程, 各缠绕层的行程相同, 而钢丝缠绕角度则由内向外逐层增大, 内层小于中性角, 外层大于中性角, 称为角度搭配结构设计法; ③各缠绕层的钢丝缠绕角度不同, 由内向外逐层增大, 各缠绕层的行程也不同, 由内向外相应减小。

在钢丝缠绕胶管的结构设计中, 普遍采用的是角度搭配的设计方法, 其优点是设计简单, 制造方便, 使用单盘、双盘及多盘缠绕机均可进行生产, 这种设计方法的不足之处在于管体在承受内压后, 轴向变形较大, 径向也产生相应的变形, 而各缠绕层的钢丝缠绕角度基本不变, 不利于力的传递, 而使材料强度的利用率降低。

采用中性角的结构设计方法, 胶管制造不方便, 特别是不能采用一般的双盘和多盘缠绕机进行生产。另外, 该设计与角度搭配设计方法一样, 存在管体承受压力后轴向变形大及材料强度利用率低的问题, 故很少采用。

采用第 3 种设计方法, 胶管在受内压后

管体的轴向变形接近于零, 各缠绕层的缠绕角度将发生不同的变化, 以使管体爆破时各层钢丝所受的力基本一致, 因此材料强度的利用率较高, 即管体的爆破压力较高。从理论上来看, 这种设计方法是比较合理的, 但其缺点是设计比较复杂, 产品制造很不方便, 另外过大的钢丝缠绕角度, 使缠绕质量控制比较困难, 故实际很少采用这种设计方法。

本文介绍一种较新的钢丝缠绕胶管结构设计方法——结构等行程设计法。

1 管体变形的基本公式

管体承受内压后, 作用力由内层通过压缩中间胶层而传给外层, 随着压力的增大, 胶管钢丝伸长, 中间胶层压缩, 钢丝缠绕角度改变, 使管体的直径和长度也发生变化, 直至爆破。

管体变形受力分析见图 1。

(1) 管体长度变化率与缠绕角度改变及钢丝长度变化率的关系

$$\begin{aligned} \because \quad L &= T / \cos \alpha_1 \\ K_L \cdot L &= K_T \cdot T / \cos \alpha_2 \\ \therefore \quad K_T \cdot T / \cos \alpha_2 &= K_L \cdot T / \cos \alpha_1 \\ K_T &= K_L \cdot \cos \alpha_2 / \cos \alpha_1 \end{aligned} \quad (1)$$

即管体长度变化率等于钢丝长度变化率与变化前后角度余弦之比的乘积。

(2) 管体直径变化率与缠绕角度改变及

作者简介 张明武, 男, 56 岁。高级工程师, 总工程师。

1961 年毕业于齐齐哈尔化工学校。已发表论文 3 篇。

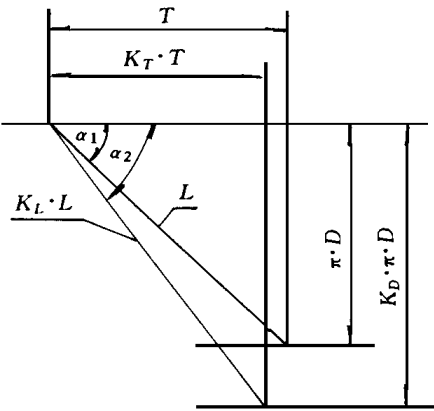


图 1 管体变形受力分析

T —行程; K_T —行程变化率; α_1 —施工缠绕角度; α_2 —受压后的缠绕角度; L —钢丝长度; K_L —钢丝长度变化率; ϵ —钢丝伸长率; D —缠绕层直径; K_D —缠绕层直径变化率

钢丝长度变化率的关系

$$\begin{aligned} \because L &= \pi \cdot D / \sin \alpha_1 \\ K_L \cdot L &= K_D \cdot \pi \cdot D / \sin \alpha_2 = \\ K_L \cdot \pi \cdot D / \sin \alpha_1 \\ \therefore K_D &= K_L \cdot \sin \alpha_2 / \sin \alpha_1 \end{aligned} \quad (2)$$

即管体直径变化率等于钢丝长度变化率与变化前后角度正弦之比的乘积。

(3)管体长度变化率与直径变化率的关系

$$\begin{aligned} \because \tan \alpha_2 &= K_D \cdot \pi \cdot D / (K_T \cdot T) \\ \tan \alpha_1 &= \pi \cdot D / T \\ \therefore \tan \alpha_2 &= \tan \alpha_1 \cdot K_D / K_T \end{aligned} \quad (3)$$

解公式(1), 得

$$\alpha_2 = \cos^{-1} (K_T / K_L \cdot \cos \alpha_1)$$

将 α_2 代入公式(3), 整理后得

$$K_D = K_T \cdot \tan [\cos^{-1} (K_T / K_L \cdot \cos \alpha_1)] / \tan \alpha_1 \quad (4)$$

公式(4)表示管体直径变化率、长度变化率与施工角度及钢丝长度变化率的关系。

2 施工行程计算公式

胶管施工管体变形受力分析见图 2。

采用结构等行程设计法的目的是使胶管

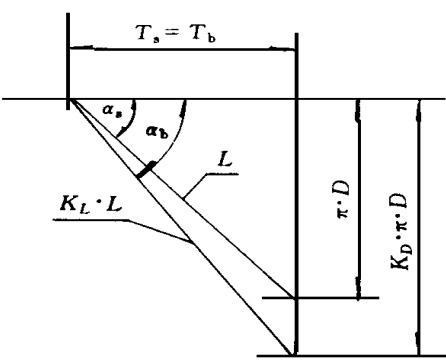


图 2 施工管体变形受力分析

T_s —施工行程; T_b —爆破时行程; D_s —施工时的缠绕层平均直径; D_b —爆破时缠绕层平均直径 α_s —施工时平均直径的缠绕角度; α_b —爆破时平均直径的缠绕角度

管体受内压后长度基本不变, 也就是要使 K_T 为 1, 即施工行程在整个受压过程中保持不变, 直到爆破, 施工行程等于爆破时的行程, $T_s = T_b$ 。

由公式(1)可知, 要使 K_T 为 1, α_1 必须小于 α_2 。在初始状态时, $K_L = 1$, $\alpha_2 = \alpha_1 = \alpha_s$, 因此 $K_T = 1$ 。随着管体所受内压逐渐增大, K_L 增大, α_2 增大而 $\cos \alpha_2$ 减小, 当 K_L 达到最大值时, α_2 增至 α_b , 等于中性角, 这样就可由 $K_T = 1$, K_L 为最大值, α_b 等于中性角而求得 α_s , α_s 可以保证最终状态(爆破状态)时 $K_T = 1$ 。

在受压过程中, 由于 K_L 的变化基本是线性的, α_s 与 α_b 的差值很小, 就使 K_T 在全部受压过程中基本不变。

由公式(2)可知, 当 $K_T = 1$ 时, 若 α_2 大于 α_1 , 则 $\sin \alpha_2$ 大于 $\sin \alpha_1$, 即 K_D 值增大, 这正是因为管体受内压后, 由 K_L 造成的管体轴向伸长, 通过钢丝缠绕角度的改变而使之被压缩, 从而使 K_T 基本不变, 而同时使管体直径进一步增大, 即 K_D 大于 K_L 。

在角度搭配及中性角设计中, 平均直径的钢丝缠绕角度为中性角, 在受压过程中基本不变, 因此, $K_D = K_T = K_L$ 。

采用结构等行程设计法,各缠绕层的钢丝缠绕角度由内向外逐层增大,由公式(4)可知,当 $K_T=1$ 时, K_D 值随 α 的增大而减小,即在管体受内压的过程中,内钢丝缠绕层的直径比外钢丝缠绕层的直径增大很多,这样就可以部分弥补由于中胶层压缩及 K_L 造成的层间间隙,改善了力的传递效果,提高了钢丝强度的利用率。

通过对胶管施工参数、成品参数和爆破时参数的计算,可求出钢丝强度利用率。

如 $\Phi 64 \times 6s \times 1.8$ 胶管,采用结构等行程设计法进行结构设计,其钢丝强度利用率可由 88.2% 提高到 92.8%。其计算公式如下:

$$T_s = L \cdot \cos \alpha_s$$

$$T_b = K_L \cdot L \cdot \cos \alpha_b$$

令

$$T_s = T_b$$

则

$$L \cdot \cos \alpha_s = K_L \cdot L \cdot \cos \alpha_b$$

$$\alpha_s = \tan^{-1} (\pi \cdot D_s / T_s)$$

将 α_s 代入上式并整理,得

$$T_s = \pi \cdot D_s / \tan \cos^{-1} (K_L \cdot \cos \alpha_b) \quad (5)$$

由上式可知, T_s 取决于 K_L 值,根据不同的钢丝选定 K_L 值,即可由 $\alpha_b = 54^\circ 44'$ 和已知的 D_s 求得 T_s 。

3 设计实例

(1) $\Phi 51 \times 4s$ 钢丝缠绕胶管

钢丝直径为 0.7 mm; 钢丝层内径为 59.4 mm; 平均缠绕密度为 0.93; 平均中间胶层厚度为 0.2 mm; 中间胶层压缩系数为 0.95; K_L 值取 102.5%。不同设计方法的施工参数及性能对比见表 1。

(2) $\Phi 51 \times 6s$ 钢丝缠绕胶管

钢丝直径为 0.7 mm; 钢丝层内径为 59.4 mm; 平均缠绕密度为 0.92; 平均中间胶层厚度为 0.2 mm; 中间胶层压缩系数为

0.95; K_L 值取 101.5%。不同设计方法的施工参数及性能对比见表 2。

表 1 $\Phi 51 \times 4s$ 钢丝缠绕胶管不同设计方法的施工参数及性能对比

项 目	设计方法	
	角度搭配	等行程
施工参数		
钢丝数量/根	150	155
缠绕角度	$54^\circ 44'$	$53^\circ 42'$
缠绕行程/mm	138	145
性能		
爆破压力/MPa	75.5	83.0
轴向变形/%		
30 MPa	+2.1	+0.36
60 MPa	+2.6	+0.71
径向变形/%	-0.04	+0.64
扭转/(度·m ⁻¹)	0.681	0.677

注: 径向变形和扭转的压力条件为 30 MPa。

表 2 $\Phi 51 \times 6s$ 钢丝缠绕胶管不同设计方法的施工参数及性能对比

项 目	设计方法	
	角度搭配	等行程
施工参数		
钢丝数量/根	153	155
缠绕角度	$54^\circ 44'$	$54^\circ 07'$
缠绕行程/mm	143	148
性能		
爆破压力/MPa	107.8	115.6
轴向变形/%		
35 MPa	+1.33	+0.51
70 MPa	+1.89	+0.92
径向变形/%	-0.13	+0.13
扭转/(度·m ⁻¹)	2.04	1.36

注: 径向变形和扭转的压力条件为 35 MPa。

在上述两种设计方法对比中,虽然所用钢丝数量不同,但这是按相同的缠绕密度计算而来的。实际上,因为采用结构等行程设计法,其 α_s 较小,因此钢丝消耗量基本一样。

4 结论

(1) 采用结构等行程设计法进行钢丝缠绕胶管的设计,优点是设计简便,与角度搭配设计法相比,只在设计程序、参数选择及计算

上有所不同,胶管的制造过程完全一样;产品轴向变形也相对小得多;在保证爆破压力相同的情况下,可节约钢丝 3%~5%,且可降低缠绕密度,提高管体的柔软性。

(2)钢丝应力不均是综合修正系数的重要组成部分,而应力不均工艺上有因素,也有结构上的因素。采用结构等行程设计法进

行设计,钢丝缠绕胶管爆破压力的计算可通过材料强度利用率的变化值来调整综合修正系数,从而减轻了结构因素的影响。

(3)钢丝缠绕胶管的结构等行程设计法可为角度搭配及中性角设计中施工行程的公差设计提供一个可靠的依据,即正比负好。

收稿日期 1997-09-19

第二届全国橡标委通用化学试验方法分技术委员会成立

第二届全国橡标委通用化学试验方法分技术委员会成立大会暨第二届一次会议于1997年11月1~4日在湖南省张家界市召开。出席会议的全国橡胶行业的分会委员及其它代表共30人。

会议由主任委员张涛主持,吴佩芝秘书长代表分会做了第一届分会工作总结,并对第一届任职的委员颁发了荣誉证书,对表现突出的委员提出了表扬,并颁发了表彰证书。化工部北京橡胶研究设计院情报标准室主任李抱清代表上级机关宣读了国家技术监督局下发的“关于成立第二届橡标委通用化学试验方法分技术委员会”的文件,并宣读了任命名单。新一届委员会成立了。

现将会议期间进行的主要议程简报如下:

(1)副主任委员史立新(沈阳橡胶研究设计院理化室)传达了化工部关于标准化工作的指示,并就“关于贯彻 GB/T 1.1—1993 及 GB/T 1.3—1997 的补充意见”进行了逐条学习,使各位委员受益匪浅。

(2)审查并通过了《氧瓶燃烧法测定橡胶和橡胶制品中溴和氯的含量》标准送审稿。该标准与前版标准 GB 9872—88《氧瓶燃烧法测定橡胶和橡胶制品中的氯含量》相比,扩大了适用范围。原标准只适用于目视滴定法测定含氯橡胶中的氯含量,新标准不仅适用于目视滴定法和电位滴定法测定单独存在的

溴或氯,对氯、溴并存的橡胶,也可用电位滴定法测定其各自的含量。新标准等同国际标准 ISO 7725—1991《氧瓶燃烧法测定橡胶和橡胶制品中溴和氯的含量》。经过讨论,全体委员一致同意该标准应为推荐性标准,达到了国际一般性水平,建议将该标准定为国家标准。

(3)根据化工部“化督标发[1997]092号文件”精神,对1990年以前制修订的标准逐项进行了复审,确定了修订项目、年限及承担单位。还审查了1998年标准制修订计划,并重审了“九五”规划。

(4)由于本次分委会换届,年轻的新委员较多,会议期间,针对新委员对标准化知识了解较少、经验不足的特点,组织了各方面的学习。内容包括:①第一届委员介绍工作经验;②秘书处组织学习了“分会工作细则及秘书处工作细则”,使各位新委员充分了解了自已的职责范围和义务;③主任委员张涛讲了“硫化橡胶标准现状及未知硫化橡胶的系统剖析”,使委员们对已制订的40多个硫化橡胶国家标准有了更系统的了解,同时更加明确了这些标准在橡胶行业中的应用前景及今后的努力方向;④新委员学习了 GB/T 1.1—1993,并进行了考试,获得了“标准化人员资格证书”。

在全体与会代表的共同努力下,会议完成了各项预定任务,取得了圆满成功。

(全国橡标委通用化学试验方法分技术委员会秘书处 纪波供稿)