

建筑工程情报资料

第8507

内部资料

国外硬质聚氯乙烯管在给排水 工程中的应用

国家建筑材料工业局技术情报研究所
中国建筑技术发展中心市政技术情报部

1985年6月



目 录

第一章 塑料管的发展与应用

一、国外概况	(1)
二、国内现状	(2)
三、国外塑料管技术发展动向	(3)
四、塑料管应用范围及其类型简介	(5)

第二章 硬质聚氯乙烯管

一、性能	(7)
二、应用	(8)
三、制造简介	(8)

第三章 硬质聚氯乙烯塑料管设计的一般原理及原则

一、聚氯乙烯塑料管工作压力的确定	(10)
二、聚氯乙烯塑料管的热膨胀	(14)
三、塑料管的水力计算	(15)
四、聚氯乙烯塑料管的埋地敷设	(21)

第四章 硬质聚氯乙烯管的施工

一、管材与管件的检验	(25)
二、运输和堆放	(25)
三、连接技术	(25)
四、膨胀处理	(32)
五、管道的安装	(34)
六、管道的检验	(39)
七、管道的修理	(41)

参考文献

第一章 塑料管的发展与应用

一、国外概况

塑料管道自二次世界大战中期开始发展,到目前为止,已成功地应用了近五十年。经过几十年的发展和研究,塑料管道从生产技术到应用技术在国外都已比较成熟。美、德、日、法、英等国都制订了比较系统的塑料管国家标准,ISO也制订了部分塑料管的国际标准。塑料管在整个建筑塑料产量中已占有40%左右的比例,并已成为整个管道行业的一部分。

美 国

美国是目前世界塑料管生产量最大的国家。然而,美国塑料管应用的起步却比较晚。60年代初,美国还没有制订塑料管道标准,因此发展比较缓慢,60年代中期产量只有15万吨。70年代开始,塑料管进入高速度发展阶段,1975年产量已是60年代中期的5倍多(详见表1-1)。发展速度如此之快的原因主要是:70年代前后开始,控制公害的问题为世界所重视,各种排污管道用量增加;各种塑料管道标准的制订和不断完善。70年代中期的石油危机,使建筑业进入萧条时期,虽然塑料管道的发展也受到了一定影响,但年产量仍保持稳步上升,1980年达到了138万吨,比1975年增长94.4%。这主要是由于塑料管道能耗低,价格上升指数远低于钢材和混凝土。70年~75年美国钢材价格上升83%,混凝土上升50.3%,而塑料只上升27.5%,尤其是塑料压力管只上升13%,是建材产品中上升率最低的产品。

美国1983年塑料管道消耗量为161万吨,占建筑塑料消耗量的42.6%(各种管道用量见表1-2),其中以聚氯乙烯管消耗110.7万吨居首位,其次为聚乙烯,增强聚酯和ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物)分别为第三和第四。预计到1995年美国塑料管消耗量将达318万吨,年平均增长率6.2%。

西 德

联邦德国是最先生产出聚氯乙烯塑料管的国家,1941年就制订了聚氯乙烯管的德国标准。1981年塑料管产量为28万吨。现在每年大约有50万米的饮水管采用塑料,占饮水管用量的49.4%,管道口径为50~300毫米,耐水压10公斤/厘米²。西德采用聚丙烯热水管作为地板采暖加热管道。聚氯乙烯管在地下埋设二十多年仍完好,估计可使用50年以上。

英 国

英国塑料管近年发展较快,1981年产量为11.7万吨,目前的增长率为每年百分之十以上。英国90%的雨水管和粪便排水管采用硬质聚氯乙烯。160毫米以下口径的排水管占有20%以上的市场。在建筑用卫生管道中大量采用硬质聚氯乙烯管预制件,先在车间将管子安装成预制件,然后运往现场安装,从而大大提高了安装质量和安装效率,并可私人自己安装和更换。

法 国

法国塑料管道1982年产量为26.4万吨,90%采用的是聚氯乙烯管。聚氯乙烯管主要用作上下水管和气体管道。新近研究制成的膨胀硬聚氯乙烯管将在不超过100℃的工业排污方面得到较快的发展。法国共有10个企业的15家工厂,3000多职工从事聚氯乙烯管的生产。

日 本

日本1981年塑料管产量为40万吨,主要采用硬质聚氯乙烯管,约占全部塑料管的90%,全部聚氯乙烯树脂的40%左右用来生产塑料管。水管直径在100~200毫米之间,耐水压5~

10公斤/厘米²。日本塑料雨水管使用较为普及，约占全部雨水管的70%，日本已制订了塑料雨水管的日本标准。

二、国内现状

国内试生产和试应用塑料管已有多年的历史，但多年来一直未在建筑上大量推广，仅仅停留在试验阶段。近几年塑料管的应用逐步受到了国家的重视，一直停滞不前的现象出现了明显的改观。

上海是国内塑料管试应用的重点地区。1984年在200万平方米的建筑上安装了硬聚氯乙烯排水管，普及率达50%，上海目前累计使用了360万平方米。天津84年安装面积达120万平方米，累计190万平方米。截至1984年6月底全国累计塑料排水管道安装面积为1400万平方米。

目前国内生产塑料管材和管件的工厂有几十家，仅北京建筑塑料制品厂、北京塑料七厂、天津塑料十四厂、上海化工厂、胜德塑料厂、江阳纺织塑料厂就已形成管材管件配套生产能力7000~8000吨/年，可满足1500万平方米以上住宅建筑下水管的需要。从全国来看，塑料管生产和应用中存在的主要问题是：管材和管件生产不配套；无统一的制造和施工标准。因此需进一步扩大试点工程，制订产品规格、尺寸、设计、施工等方面的国家标准和规范，解决安装技术、施工及耐久性等问题。

美国建筑用塑料管消耗量(万吨) 表 1—1

年 度	1966	1970	1975	1980	1981	1982	1983
产 量	15	39.4	71.0	138.6	145.3	138.3	161

美国各种塑料管消耗量及所占比例(万吨) 表 1—2

	1980		1981		1982		1983	
	消耗量	%	消耗量	%	消耗量	%	消耗量	%
ABS	12.3	8.9	10.0	6.9	6.0	4.3	8.0	5.0
环氧(涂层)	0.5	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	0.5	0.3
高密度聚乙烯	20.5	14.8	24.3	16.7	21.5	15.5	25.7	15.9
低密度聚乙烯	1.0	0.7	1.2	0.8	3.2	2.3	3.6	2.2
聚丙烯	0.7	0.5	0.9	0.6	1.1	0.8	1.0	0.6
聚苯乙烯	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3
聚氯乙烯	93.0	67.1	97.4	67.0	98.1	69.5	110.7	68.5
增强聚酯	10.0	7.2	10.5	7.2	9.5	6.9	11.0	6.8

美国各种材质的产量比例(%) 表 1—3

年 份 \ 材 质	钢 管	塑 料 管	混凝土管	铜 管	铸铁管	铝 管	石 棉 水泥管	陶瓷管	其 它
1979	48.2	12.8	6.1	9.2	4.7	2.5	1.6	0.9	14.1
1985 (预测)	46.3	16.8	5.9	8.8	4.5	1.6	0.9	0.5	14.7

美国塑料管的消耗结构

表 1—4

年份	用途	建筑用管			电线管	农用管	煤气管	工业用管	其它
		上水管	下水管	通风管					
1977		33.4	18.5	14.6	10.7	14.2	1.9	5.0	1.7
1990 (预测)		37.2	20.5	10.5	10.5	8.8	3.7	7.0	1.8

主要塑料管生产国人均消耗量(1981年)

表 1—5

国家	美国	西德	法国	日本	英国
塑料管总产量(万吨)	145.3	28	24.8	40	11.7
人均消耗(公斤)	6.8	4.6	4.6	4	2.1

1984年建工、化工、轻工、建材等部门联合接受了国家科委下达的“民用建筑硬质聚氯乙烯塑料上下水管扩大试应用”的课题，并在黑龙江、福建两省分别进行了2万平方米的工程试验，考核冷热气候对塑料管在运输、保存、施工的影响，为在全国范围内推广硬聚氯乙烯管提供经验和数据。课题中需重点解决连接方式、管件尺寸、施工机具和性能测试等问题，进一步总结经验，在86年底以前提出硬质聚氯乙烯上下水管的基本尺寸、材质、设计、施工及验收的标准和规范的初稿。

据国务院技术研究中心资料：1981年全国城镇新建住宅竣工面积为9700万平方米。如果住宅建设速度按翻两番的速度估计，到2000年我国住宅竣工面积将达4亿平方米。那时新建住宅即需安装聚氯乙烯排水管16万吨。如果再考虑其它管材的开发、推广和应用，作为保守的估计，到2000年塑料管的需要量至少在100万吨以上。

在1984年年底召开的《全国化学建材及聚氯乙烯制品技术交流和推广应用会》上讨论的“七·五”规划各项要求中第一项就是开发大口径管、耐压管、热水管、地面取暖管。

三、国外塑料管技术发展动向

国外塑料管的材质和生产经过多年的研究已日趋成熟。因此今后的研究重点将主要放在塑料管应用技术的研究与开发上，以不断扩大塑料管的应用领域来进一步推动塑料管的发展。

1. 向大口径发展

随着城市用水量的不断增大，给排水管道的口径也在不断增大。以加拿大为例，过去加拿大城市下水管道一般采用8英寸的管子，现在使用的管道已普遍上升到15英寸，有些已达到18英寸。为了更广泛地开辟塑料管的应用市场，在一些上下水主干线或特殊场合下已采用大口径(14英寸以上)管代替其它材料的大口径管。正是这些原因使大口径塑料管近年来有了较快的发展。美国大口径塑料管近年年平均增长高达37%。

美国Sheldon公司已正式生产了1600毫米直径的高密度聚乙烯压力管。这种管道，在23℃条件下，壁厚有1.895和2.501英寸两种规格，耐压分别为46磅/英寸²和60磅/英寸²。

芬兰的Wilk公司为奥地利某化工厂一条200米的管线生产了1600毫米聚丙烯管。

2. 热水管已开始应用

塑料热水管在70年代还处于研究阶段,应用只是近几年才开始的事。目前国外生产的热水管的耐热性能,在2—8个大气压下,根据不同的使用条件,耐温在90~100℃间。西德在地板辐射式采暖系统中使用聚丙烯管。英国在某运动场的加热系统中使用交联聚乙烯热水管,这一系统一次耗用塑料管45,000米。美国采用氯化聚氯乙烯管作为建筑自动热敏式喷水灭火系统的管道。

美国和欧洲在热水管原材料的选择上有较大差异,美国主要采用氯化聚氯乙烯和聚丁烯为原材料制造热水管,西欧以使用交联聚乙烯和聚丙烯热水管为主。有关人士对两个市场使用完全不同材料的热水管进行的调查表明,美国使用的材料更具有代表性,因为欧洲也开始有使用氯化聚氯乙烯和聚丁烯热水管的趋势。美国塑料热水管市场年销售量在10,000吨左右,西欧大约有13,000吨的市场。

3. 塑料上水管大量应用

国外已大量采用塑料管作为上水管道。西欧、美国、日本等国其用量已占上水管材的20%以上。79年日本硬聚氯乙烯管用于上水管仅8英寸以上的就有1800多公里,共10.4万吨。欧洲也大量使用聚氯乙烯管,联邦德国塑料管标准中耐压10公斤/厘米²和16公斤/厘米²两个级别都是用于上水管道,联邦德国每年饮用水管用量就达50多万里。

饮用水管,在美国、西德、日本都有明确的卫生标准,上述国家都已承认各种合格塑料饮用水管在工程上的应用。

三、塑料管的节能

使用塑料管具有轻便、易于安装、耐腐蚀性好、节约能源、不产生内结垢等优点。一般一吨塑料管可代替10~13吨铸铁管,大大减轻了重量;安装工时可节省3/4~1/2,降低了劳动强度,提高了工作效率;管道内壁光滑,长期使用不结垢,流量与铸铁管相比可提高30%以上。

塑料管与铸铁管相比可大量节约制造能耗。据美国塑料协会统计,美国1977年生产塑料管总重量为90万吨,这些管材若用金属,其重量将达790万吨。生产这些塑料管材所消耗的总能量是 84×10^{12} 热量单位,但若用金属管,则需耗能 408×10^{12} 热量单位,使用塑料管节约了大约 324×10^{12} 热量单位的能量,折合成石油,相当于5600万桶。

据英国帝国化学工业公司资料,1974年到1978年间英国生产的小口径管能耗如表1—6。

由表中可见聚氯乙烯管材的能耗远低于铸铁管,仅为铸铁管能耗的18.3%,也低于混凝土、树脂纤维和石棉水泥管。这恐怕也是英国塑料管发展较快的原因之一。

美国4英寸下水管每百公里能耗(折合石油)

表 1—6

管 材 类 型	能 耗(吨)
铸铁管	1970
混凝土管	560
树脂纤维管	440
石棉水泥管	400
聚氯乙烯管	360
粘土管	275

四、塑料管应用范围及类型简介

塑料管使用的种类主要有聚氯乙烯(PVC)、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、丙烯腈—丁二烯—苯乙烯(ABS)、氯化聚氯乙烯(CPVC)、聚丁烯(PB)以及纤维增强聚酯或环氧管等。后两种是热固性塑料管,其余的为热塑性塑料管。塑料管的应用主要有如下方面:

污水管和通风管道	电离水管道
冷却塔用管道	建筑或桥梁雨水管
废酸排放系统	饮用水管
电镀厂管道	工厂酸碱用管
地下灌溉管道	游泳池管道
食品工业管道	海水系统管道
钢厂精选用管道	建筑上水管道
废水净化用管	建筑下水管道
天然气输送管道	矿山用管道

各种塑料管有不同的物理性能,因此根据使用要求的不同,可选择不同的塑料管。表1—7是各种制造塑料管使用的普通材料的物理性能,根据加入各种辅助剂的变化,其物理性能将发生一定的变化。下面将几种常用塑料管的优良性能以及最主要的应用简单加以介绍,其中聚氯乙烯管将在下章中专门介绍。

聚乙烯管:聚乙烯是将乙烯化学交联成长链的热塑性高聚物。聚乙烯管第一次使用是1940年在矿山非压力排水管道中代替金属管、以解决酸性水对管道的腐蚀。聚乙烯突出的优点是重量轻、韧性好、抗冲强度高、无毒;但其抗压强度和抗拉伸强度较低。聚乙烯管用的较多的是饮水管,雨水管,气体管道,工业耐腐蚀管道。聚乙烯管分为高密度和低密度聚乙烯管,前者具有较好的耐温性能和强度,而後者的价格较便宜。

ABS管:这是一种丙烯腈—丁二烯与苯乙烯的共聚物加入稳定剂,颜料等辅助剂制成的管道。美国ASTM标准规定:制造管材和管件的ABS树脂,丁二烯最少含有60%,丙烯腈最少含有15%,苯乙烯最少占15%,其它单体不可超过5%。ABS管具有优良的耐腐蚀性,重量较轻,其耐热性能高于聚乙烯和聚氯乙烯,但价格较贵。这种管适合作卫生洁具用下水管、输气管、灌溉和地下电缆导管。美国是使用ABS管作为污水管最多的国家。

聚丙烯管:这种管道是最轻的塑料管之一,它的密度仅为 $0.91\sim 0.92$ 克/厘米³,耐腐蚀性好,具有较好的强度,适合用作化学污水、海水、油和灌溉管道。西欧使用聚丙烯管作为采暖系统用热水管。

聚丁烯管:聚丁烯管的强度介于PE和PP之间,柔性介于低密度聚乙烯和高密度聚乙烯之间。聚丁烯管突出的特点是抗蠕变性能和耐温性能好。聚丁烯管主要应用在供水管、冷或热水管,工业管和输气管道上。

氯化聚氯乙烯管:氯化聚氯乙烯管在国外将其划为硬质聚氯乙烯管的一种类型,由于其突出的耐热性能,又称为耐热型聚氯乙烯管。它的主要用途是作为热水管。它的另一特性是具有优良的抗拉和抗压强度。

热固性塑料管:这是一大类用纤维增强的塑料管。具有优异的耐腐蚀性和强度,可广泛作为石油化工用管道。

美国制造塑料管一般材料的物理性能

表 1—7

物 理 性 能	PVC	CPVC	ABS	PP	PE	增强环氧	增强聚酯
比重	1.38	1.54	1.04	0.91	0.95	1.80	1.50
拉伸强度 磅/英寸73°F	7,000	7,300	5,500	4,900	3,400	9,000	9,000
拉伸弹性模量 磅/英寸73°F	4.51×10^5	3.65×10^5	3.1×10^5	1.5×10^5	0.7×10^5	13.0×10^5	1.3×10^5
拉压强度 磅/英寸 ²	9,600	15,500	7,700	8,500	不采用	19,000	19,000
弯曲强度 磅/英寸	14,500	14,500	10,000	8,500	2,800	25,000	19,000
导热率 热量单位/小时英尺 ² °F英寸	1.05	0.96	1.4	1.3	3.5	1.8	1.3
燃烧性	自熄	自熄	低	低	低	自熄	低
热变形温度、°F、264磅/英寸	165	215	197	150	170	275	300
吸水率、%、24小时73°F	0.07	0.11	0.33	0.03	0.01	0.03	0.20
悬臂梁冲击 英尺磅/英寸	0.8	0.63	4.5	2.1	7.0	50.0	35.0
无缺口、73°F							

第二章 硬质聚氯乙烯管

聚氯乙烯管是塑料管中应用最早、用量最大的。大约在1936年德国首先使用了聚氯乙烯管。目前各国聚氯乙烯管的用量是其它塑料管用量总和的两倍以上。

美国1983年消耗聚氯乙烯管110.7万吨，占全部塑料管总产量的68%，约占聚氯乙烯树脂总产量的40%。日本90%的塑料管是聚氯乙烯管。英国90%的雨水管和粪便排水管使用聚氯乙烯管。法国1980年聚氯乙烯管产量为21万吨，占全部塑料管产量的90%左右。西欧国家硬聚氯乙烯管材和管件占全部聚氯乙烯产量的28%，估计到1990年将占30%。

一、性能

硬质聚氯乙烯管是指未加增塑剂的聚氯乙烯管。国外通常将其分为三种类型，一种是应用较为广泛的普通硬质聚氯乙烯管，称为I型；一种是经过改性的硬质聚氯乙烯管，以改变或提高某项性能，这种称II型；III型就是前面提到的氯化聚氯乙烯管，有良好的耐热性能。

热性能：聚氯乙烯管随温度变化，膨胀和收缩的变化较大，一般的线性膨胀系数为 $6 \sim 6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，I型硬聚氯乙烯管的热变形温度为 160°F ，II型的热变形温度为 140°F ，III型为 212°F 。

耐化学腐蚀性：硬聚氯乙烯有良好的耐腐蚀性，耐酸、耐碱、不受土壤和水质的影响。各国对于聚氯乙烯管在各种化学试剂环境下的稳定性都有标准可供参考。

耐久性：合理地选择配方，可使聚氯乙烯管获得较好的耐候性。聚氯乙烯管在地下铺设，不受潮湿水份和土壤酸碱度的影响，不导电，对电介质腐蚀不敏感。一般比较合适的说法，硬聚氯乙烯管在不同的使用条件下，寿命在20~50年之间。

毒性：由于聚氯乙烯树脂中含有残留的氯乙烯单体，在制造中又加入了含铅、镉等有毒物质的稳定剂，而单体和铅在水中会从管道中析出，从而危害环境和人体的健康，并有制癌的可能，因此使用硬聚氯乙烯管作为饮水管，是否有危险，这曾引起人们的恐慌。为此各国对此进行了大量的研究工作，解决的方法是从树脂中排除氯乙烯单体，使用低铅含量稳定剂等。为了保证安全可靠，各国标准都制定了限制这几种物质含量的标准。美国规定水中含铅量要小于0.05PPM(百万分之0.05)，含镉量小于0.01PPM，氯乙烯单体含量0.1PPM以下。西德规定聚氯乙烯稳定剂中的铅含量不得超过2%。美国明确规定硬聚氯乙烯管可作为上水管使用，这一点得到了美国工程协会的认可。

燃烧性能：硬质聚氯乙烯管道具有自熄性能。但在高温下能够分解，产生一氧化碳、二氧化碳、氯化氢和水，这些气体能否对人体产生危害引起过各国有关人士的注意。美国使用动物进行试验，结果动物全部窒息而死，经过检查发现，这些动物死因主要是聚氯乙烯放出的大量一氧化碳使其窒息，没有发现其它物质对肺的损害。也就是说聚氯乙烯在高温下产生的一氧化碳可以使人窒息，但这一问题在其它有机材料的燃烧时，如纸、木材或棉花，会产生同样的结果。一些关于PVC在燃烧分解时会产生氯气和碳酰氯的推测，美国学者在大量的试验后认为未在分解的气体中发现这些气体。

力学性能：聚氯乙烯管有较好的抗拉抗压强度，但其柔韧性不如其它塑料管，因此耐冲击要求较高的情况下一般采用改性硬聚氯乙烯管。

国外硬聚氯乙烯排水管主要性能标准

表 2—1

项 目 \ 标 准	ANSI/ASTM	BS	JIS	DIN	ISO/DIS
拉伸强度		不小于 450公斤/厘米 ²	480公斤/厘米 ²	420公斤厘米 ²	
扁平试验	压至40%外 径不开裂		压至1/2外径无裂纹		
维卡软化点			管件80℃	管材79℃ 管件70℃	管材79℃ 管件70℃
落球试验	23℃ 2"4.7公斤·米 3"5.4公斤·米 4"6.1公斤·米	4.0公斤·米		20℃下破损率不 大于10%	0℃不大于5% 20℃不大于10%
液压	组合试验 1.7公斤/厘米 ² 不渗漏	组合试验 0.7公斤/厘米 ²	管材:12.5公斤/ 厘米 ² 1分钟 管件:3.5公斤/厘米 ² 1分钟	组合试验 0.5公斤/厘米 ² 15分钟	组合试验 0.5公斤/厘米 ² 15分钟

注: ANST, 美国国家标准; ASTM, 美国试验协会标准; BS, 英国标准; JIS, 日本标准

DIN, 西德标准; ISO, 国际标准; DIS, 国际标准草案。

二、应用

硬聚氯乙烯管根据使用不同, 可分为压力和非压力两个系列。

压力管应用主要包括;

- A、上水管道(包括饮用水管),
- B、灌溉用管道,
- C、气体管道,
- D、原油输送线路,
- E、压力废水干线,
- F、真空管,
- G、工业用管道。

非压力管主要包括:

- A、空气和通风导管,
- B、下水、废水和排污管道,
- C、电线导管,
- D、雨水管。

三、制造简介

聚氯乙烯管材的制造是将原料喂入螺旋挤出机, 在加热加压条件下, 熔融后的材料被压过一个钢模, 从钢模挤出的管子再经过定径、冷却、切割等工序, 成为管材。

生产管材的挤出机有多种类型和规格, 目前使用较多的可分为单螺杆和双螺杆挤出机两大类。在欧洲大部分国家已采用双螺杆挤出机, 在美国则还有很多厂家使用单螺杆挤出机。双螺杆挤出机挤出效率高; 可使用粉料直接加工管材; 加工物料受剪切力小, 不易热分解;

可生产大口径管材。单螺杆挤出机结构简单，投资少，维修简便；但不易生产口径较大的管材，生产必须使用粒料(美国最近报道已可使用粉料在单螺杆挤出机上生产塑料管)。

管件是采用注射模塑的方法生产。生产方法是：将原料在注射机内加热成塑性状态，在压力下将物料注入一个密闭的金属模具中，物料在模具中冷却凝固，成为精确形状的管件。

下面是西德生产硬聚氯乙烯压力管的一般生产过程：

A.生产聚氯乙烯压力管，目前大部分采用双螺杆挤出机和粉料。粉料由运输车运来后注入塔式料库中，使用前，粉料按配方加入一系列添加剂，添加剂的使用对产品性能的稳定性及整个工艺过程起着重要的作用。

B.所有添加剂占总重量的3.3%，一般采用电子计算机称量装置自动称量给料及混合。

C.混合后的原料，自动送入双螺杆挤出机的喂料漏斗，进入挤出机。

D.熔融的物料经过挤出机前部的模具挤出，经定形、冷却、切割形成口径一致的管材。

E.对于承插连接和密封圈连接的管材，还需进一步加工承口。承口是在涨口成型机上成型并局部加厚。

F.在每一根管子上都用热压法标明生产公司，生产日期、产品名称和规格。

G.最后要对管子进行外观、压力、尺寸等质量检验并标注质量合格符号。

H.在管子生产厂都配备生产配套管件的设备，以配套生产材质相同的管件。

第三章 硬质聚氯乙烯塑料管设计的一般原理及原则

塑料管用于管道系统具有许多优点，然而设计或使用不当，则不能充分发挥其特点，反而造成不良后果。为此，掌握塑料管的一些特点及基本的设计原理与原则是非常必要的。本章将对塑料管设计中有关的一般原理和原则作粗浅的介绍。

一、聚氯乙烯塑料管工作压力的确定

1. 额定压力的确定

对于薄壁压力管而言，管壁的拉应力与管材所承受的内压之间的关系式如下：

$$S = \frac{P(D - t)}{2t} \quad (1)$$

$$S = \frac{P(d + t)}{2t} \quad (1')$$

式中：S——管壁上的最大拉应力，即管壁强度；公斤/厘米²

P——管壁所承受的内压力；公斤/厘米²

D——管平均外径；毫米

d——管平均内径；毫米

t——管最小壁厚；毫米

该式是通过试验而得到的。试验过程中在管内施加一个恒定增长速率的压力，直至管子破损为止。

塑料是一种弹性材料，受长期荷载的作用将出现延伸现象，影响它的使用性能。因此，在确定塑料管的额定压力时就不能根据它的短时爆破压力值，而应该考虑受长期荷载作用下的使用情况。一般是采用能保证50年使用寿命的长期静水压力强度 (Long-term Hydrostatic Strength = LTHS)*作为计算塑料管额定压力的基础值，称之为静水压力设计基础值 (Hydrostatic Design Basis = HDB)。该值与安全系数 f (Service factor) 的乘积即为静水压设计应力值 (Hydrostatic Design Stress = HDS)：

$$H = f \cdot S' \quad (2)$$

式中：H——静水压设计应力 (HDS)；公斤/厘米²

S'——静水压力设计基础值 (HDB)，即长期静水压力强度 (LTHS)；公斤/厘米²

f——安全系数

安全系数 f 是一个小于 1.00 的数。由于各种塑料管的材质不同，输送液体和工作环境的差异，制定安全系数的因素很多，一般主要考虑两个方面的影响因素。第一方面是生产厂家的制造工艺，如选用的材料不同、制造尺寸及操作技术上的差异等等，通常这个影响因素的

表 3—1

安全系数 f	0.50	0.40	0.20	0.125
温 度 ℃	23	37.8	60	82.2
输送介质	水	水	水	水

* 如何通过试验确定 LTHS 请参阅 ASTM D1598 (美国)。

变化范围在1~10%之间；第二个方面是使用情况，如安装、工作条件和环境等等。美国的塑料管研究部门推荐聚氯乙烯塑料管道系统所采用的f值见表3—1。

日本一般用于聚氯乙烯管道系统的f值为0.4~0.5。

鉴于上述情况，可从公式(1)中推导出设计应力值与管材的额定压力的数学关系式：

$$Pr = \frac{2Ht}{D-t} \tag{3}$$

或
$$Pr = \frac{2Ht}{d+t} \tag{3'}$$

式中 Pr 为管材的额定压力值。

2. 温度对塑料管额定压力值的影响

大多数热塑性塑料管的额定压力值都是在水温 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 的状况下测定的。由于环境温度的增高，管材会出现延伸，将导致塑料管的抗拉强度下降。因此在工作温度升高时，管材的额定压力值要减小。在不同环境温度的额定压力值可按公式(4)进行修正。

$$Pr = \alpha Pr_0 \tag{4}$$

式中： Pr ——温度 $t^\circ\text{C}$ 时的额定压力值，公斤/厘米²

Pr_0 ——温度为 23°C 时的额定压力值，公斤/厘米²

α ——温度修正系数；不同温度下的修正系数见表3—2。

聚氯乙烯塑料管在不同温度下的修正系数 表 3—2

操作温度 $^\circ\text{C}$	23	27	32	38	43	46	49	52	54	60	65
修正系数 α	1.00	0.90	0.75	0.62	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.22	0.15

3. 管材的额定压力与壁厚之间的关系

国外根据塑料管材的额定压力来划分制定管材尺寸的方法有多种，但都大同小异，都是以公式(3)的数学关系为基础。在此介绍目前美国较为流行的 SDR—PR(Standard Dimensions Ratios——Pressure Rating)方法，该方法也被ISO所采纳。

将公式(3)变形，可更清楚地看出管材额定压力与尺寸之间的关系。令 D/t 为标准尺寸比例数SDR(Standard Dimensions Ratios)。

$$SDR = \frac{D}{t} = \frac{2H}{Pr} + 1 \tag{5}$$

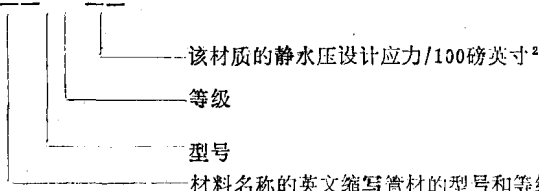
一般来说各种塑料材质的H值是一定的，因此从公式(5)中可知，对指定的管材材质而言，管材尺寸的变化是随其额定压力值的大小而发生相应的改变。于是可根据不同的额定压力值来划分SDR值的等级。SDR值的等级划分是从每种管材材质的额定压力和各个SDR值的管材尺寸的变化均匀性来考虑制定的。美国一般将额定压力值分为3.4、4.3、5.5、6.9、8.6、11.2、13.8、17.2和21.7公斤/厘米²几个等级，因此对应于每一额定压力值都有一个相应的SDR值，而每一个SDR值可制定出一系列管材尺寸。美国试验与材料协会(ASTM)根据SDR—PR方法制定的“聚氯乙烯塑料管额定压力与SDR关系”、“聚氯乙烯塑料管尺寸及公差”见表3—3和表3—4。这种方法对制造者和设计使用者都非常简便、明了。

SDR	各种聚氯乙烯材质塑料管额定压力 ^[1]							
	PVC1120 DVC1220 PVC2120		PVC2116 ^[2]		PVC2112		PVC2110	
	公斤/厘米 ²	磅/英寸 ²	公斤/厘米 ²	磅/英寸 ²	公斤/厘米 ²	磅/英寸 ²	公斤/厘米 ²	磅/英寸 ²
13.5	21.7	315	17.2	250	13.3	200	11.0	160
17	17.2	250	13.8	200	11.0	160	8.6	125
21	13.8	200	11.0	160	8.6	125	6.9	100
26	11.0	160	8.6	125	6.9	100	5.5	80
32.5	8.6	125	6.9	100	5.5	80	4.3	63
41	6.9	100	5.5	80	4.3	63	3.4	50
64	4.3	63	3.4	50				

注1、本表中的额定压力值不适用于螺纹连接的管材。

注2、美国对塑料管材质的命名是采用该树脂的英文缩写(如聚氯乙烯PVC、聚乙烯PE、聚丙烯PP等),后跟四位阿拉伯数字。每位数字都表示一定的含义。例如:

PVC 1 1 2 0



根据标准和材质性能所规定的。

例如PVC2120为二型、一级静水压设计应力值为2000磅/英寸²的聚氯乙烯管材。

管材的型号和等级并不反应其质量,而是根据AST M标准和材质性能所规定的。

例如PVC2120为二型、一级、静水压设计应力值为2000磅/英寸²的聚氯乙烯管材。

例1,求PVC1120管材,SDR=21的额定压力值。

解:已知PVC1120材质的设计应力为H=2000磅/英寸²

$$\therefore Pr = \frac{2H}{SDR - 1} = \frac{2 \times 2000}{21 - 1} = 200 \text{ 磅/英寸}^2$$

例2,计算公称直径为2英寸PVC2116,SDR=26的管材壁厚。

解:从表4中查得公称直径为2英寸的管外径为2.375英寸

$$\therefore t = \frac{D}{SDR} = \frac{2.375}{26} = 0.091 \text{ 英寸}$$

4.一般设计原则

1)确定塑料管系统的工作压力。工作压力一般由两部分组成,操作压力值和最大水锤压力值。

2)根据工作压力确定所需塑料管的额定压力值。额定压力值应大于工作压力,且留有一定的富裕量,以保证安全。

3)校核设计管路系统最高温度时的额定压力值是否满足工作压力的要求。

4)根据管材材质和设计选用的额定压力值确定SDR值,选用管材系列。

聚氯乙烯塑料管尺寸及公差

公称直径 (英寸)	管材直径(英寸)		管 壁 厚 度 (英寸)									
			SDR64		SDR41		SDR32.5		SDR26		SDR41	
	平均外径	公差	最小	公差	最小	公差	最小	公差	最小	公差	最小	公差
1/8	0.405	±0.004										
1/4	0.540	±0.004										
3/8	0.675	±0.004										
1/2	0.840	±0.004										
3/4	1.050	±0.004										
1	1.315	±0.005										
1 1/4	1.660	±0.005										
1 1/2	1.900	±0.006										
2	2.375	±0.006										
2 1/2	2.875	±0.007										
3	3.500	±0.008										
3 1/2	4.000	±0.008										
4	4.500	±0.009	0.070	±0.020	0.110	±0.020	0.138	±0.020	0.173	±0.021	0.214	±0.026
5	5.563	±0.010	0.084	±0.020	0.136	±0.020	0.171	±0.021	0.214	±0.027	0.265	±0.032
6	6.625	±0.011	0.104	±0.020	0.162	±0.020	0.204	±0.024	0.255	±0.031	0.316	±0.038
8	8.625	±0.015	0.135	±0.020	0.210	±0.025	0.265	±0.032	0.332	±0.040	0.410	±0.049
10	10.750	±0.015	0.168	±0.020	0.262	±0.031	0.331	±0.040	0.413	±0.050	0.511	±0.061
12	12.750	±0.015	0.199	±0.024	0.311	±0.037	0.392	±0.047	0.490	±0.059	0.603	±0.073

注: 按SDR值计算的管壁厚度若小于0.060英寸(0.152毫米), 则应取0.060英寸(0.152毫米)。

例3, 试设计工作压力为75磅/英寸²的管路系统。

选用材质PVC2110管材。则所需的SDR值:

$$SDR = \frac{2H}{P_r} + 1 = \frac{2 \times 1000}{75} + 1 = 27.7$$

从安全角度考虑, 应选用较计算值小的那一级SDR值, 故选用SDR226, 此时的额定压力为:

$$P_r = \frac{2H}{SDR - 1} = \frac{2 \times 1000}{26 - 1} = 30 \text{ 磅/英寸}^2$$

大于工作压力值, 符合使用要求。

二、聚氯乙烯塑料管的热膨胀

1. 膨胀量的计算

大多数塑料, 特别是热塑性塑料受温度的影响会发生膨胀现象。热塑性塑料管材具有很高的热膨胀系数, 它沿其轴向的热膨胀系数大约是钢管的5~6倍, 因此在设计塑料管路系统时, 应特别注意热膨胀的问题, 尤其是用于地面管路的塑料管系统, 这个问题更为突出。

下式是常用于计算塑料管热膨胀的数学表达式:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t \quad (6)$$

式中: ΔL ——伸缩长度, 米

α ——温度变化1℃的线性膨胀系数, 1/℃ (用于聚氯乙烯管的 α 值一般为 $6 \sim 8 \times 10^{-5}$ /℃)

L ——管线长度, 米

Δt ——最大温差, °C

美国推荐采用下式计算热膨胀量:

$$\Delta L = Y \frac{(T - t)}{10} \cdot \frac{L}{100} \quad (7)$$

式中: Y ——每100英尺长管线温度变化10°F的膨胀系数 (用于聚氯乙烯管的 Y 值为1/3)

T ——最高温度, °F

t ——最低温度, °F

ΔL ——管线的膨胀长度, 吋

L ——管线长度, 英尺

2. 一般设计原则

1) 地面管线

地面管线直接暴露在大气中, 因此大气环境温度的变化将直接影响塑料管的胀缩。一般来说地面管线长度超过30米, 环境温度变化大于15℃时, 就应该采取必要的措施。

在计算膨胀量时, 最大、最小温度的确定是事关重要的。应该测取最大和最小的大气温度及最大和最小的水温, 然后取这四个值中的最大值和最小值为温差变化值。管线上伸缩接头的位置设计应根据接头的性能及允许伸缩量来确定。有关伸缩接头的技术性能、安装要求将在下一章中叙述。

2) 地下管线

与地面管线相比, 地下管线的膨胀问题比较容易解决。因为地下管线不直接暴露在大气中, 且覆盖土壤还具有有一种绝缘性能, 防止了温度的迅速改变, 因此它受大气温度变化的影

响较小,相对来说温度是比较稳定的。

地球表面的温度在一天或一年中由于大气温度和太阳光的照射变化幅度较大,而表层土温度的变化不仅受大气温度和太阳光照射的影响,主要还取决于土壤性质和松散程度等因素。据国外资料介绍,在地表0.5米以下深处的土层温度在一天之内是不变的(但是在季节和月份改变时有可能变化),在0.6~1.2米深处的土层温度值接近于月的平均大气温度;在地表以下10米深处的土层温度在一年之内是不变的,其温度值接近于年平均大气温度。因此,地下管线承受的温度波动是非常小的,另外管材与土壤间的摩擦力对温度波动所引起的伸缩也有一定的抑制作用,所以地下管线无需考虑热膨胀的问题,即不必采取什么措施。

管材与土壤间的摩擦力抑制了由于温度波动所引起的伸缩作用,因此在管子上产生了热应力,其值可通过下式计算:

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \quad (8)$$

式中: σ ——热应力;公斤/厘米²

α ——温度变化1℃的线性膨胀系数;1/℃

E ——弹性模量(聚氯乙烯塑料管一般为 $3.2 \sim 4.0 \times 10^4$ 公斤/厘米²)

Δt ——温差变化;℃

据国外的资料介绍,根据实际埋设的地下塑料管线,按公式(8)计算的热应力值远远低于塑料管的拉伸强度值,因此具有很高的安全度。

三、塑料管的水力计算

1. 国外对聚氯乙烯管摩擦系数的研究

摩擦系数 λ 与管子材料、管子内壁及管内液体粘滞性和流速有关。目前国际上尚无通用的计算公式,各国都是根据实验研究推导的经验公式来计算。为确定塑料管的水力摩擦系数,许多国家的学者进行了大量的试验,下面列举部分研究资料供参考。

1) 苏黎世高等技术学校曾进行过确定硬聚氯乙烯管和聚乙烯管水头损失的试验。根据试验结果认为:上述管材的阻力系数 λ 值可按赫尔曼—布尔巴哈的用于计算光滑金属管水头损失的公式来计算,即:

$$\lambda = 0.00540 + \frac{0.322}{Re^{0.3}} \quad (9)$$

式中 Re 为雷诺数,其适用范围为10,000~950,000。

2) 德国的格·格留涅尔根据聚氯乙烯管和聚乙烯管水头损失的试验结果认为:为确定这两种管子水头损失,可以按部里布鲁卡—瓦依塔公式来计算摩擦系数 λ ,即:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{0.0015}{3.71d} \right) \quad (10)$$

3) 捷克斯洛伐克的阿·巴梁斯基博士和阿·雅努斯工程师对公称管径为15、20、25和32毫米的硬聚氯乙烯管进行了阻力试验。根据实验结果他们认为塑料管的阻力系数 λ 比雅科巴—埃尔卡的光滑管公式的计算结果稍小一点。雅科巴—埃尔卡光滑管公式如下:

$$\lambda = 0.0072 + \frac{0.614}{Re^{0.35}} \quad (11)$$

4) 意大利巴杜安斯基大学水利学院的阿·维拉涅茨教授和克·达吉教授对管径为80、125和200毫米的聚氯乙烯管进行了水头损失的测定试验。根据试验结果,他们导出了聚氯乙烯