

文章编号: 1007-2284(2018)04-0034-06

灌溉输水管道现状及发展需求

白静, 谢崇宝

(中国灌溉排水发展中心, 北京 100054)

摘要: 管道是灌溉输水工程中的重要组成部分, 管道的选材、选型直接影响到工程建设的质量和经济性。对灌溉输水涉及管道分类基础上, 对常见管道的管径范围、压力等级和密度、管道力学特性及水力学性能进行了总结和比较。结合管道的特点, 提出了灌溉现代化进程中对管道的新需求和建设。

关键词: 节水灌溉; 输水管道; 管道分类; 需求

中图分类号: [TV93] **文献标识码:** A

管道输水和渠道输水是灌溉输水工程中最重要形式。与渠道输水的方式相比, 管道输水的水利用系数更高, 一般比土渠输水节水约 30%, 比砌石防渗渠道节水 15% 左右^[1,2], 管道输水灌溉以其成本低、节水明显、技术简便易行等特点, 已成为世界许多发达国家发展灌溉优先选用的技术措施之一。美国加州圣华金河谷灌区支渠以下的输水系统在 1996 年就全部实现管道化, 控制面积为 24.67 万 hm^2 , 灌溉水利用系数为 0.97。前苏联、日本、澳大利亚、以色列等国家也大面积发展管道输水灌溉, 并有采用管道逐步代替明渠的发展趋势。目前在我国的管道是井灌区首选的输水方式, 国内许多学者已经研究了在渠灌区推广管道输水的可能性^[3], 并在陕西、河北、河南、新疆等地开始试点应用^[4-6]。

1 灌溉管道的分类

关于管道分类方法, 我国灌溉领域也进行了一些有益的探索。刘群昌介绍了低压管道输水工程中塑料管道、现浇管道和预制管道等 3 种管材的基本参数^[7]。张华等人^[8]从塑料管材和金属管材 2 个方面着手, 对应用于节水灌溉中的管材进行了详细的介绍和总结。针对低压管道输水形式, 刘群昌^[9]系统介绍了薄壁 PVC 管以及可用于替换渠道的大口径双壁螺旋塑料管。

目前, 管道的分类主要有两种方法: 按照材质和压力分类, 其中按照材质分类是管道主要的分类方法。管道按照是否加压分为无压管道和压力管道。压力管道是指输送的液体气体

等介质在加压的状态下运行的管道的统称, 一般以大气压力表示。根据工作压力不同, 可分为低压、中压和高压等不同压力等级的管道^[10]。分类标准与相应行业的管道设计压力范围有关^[11,12]。在灌溉中涉及压力管道的灌溉形式主要有低压管道输水灌溉、喷灌、微灌等。考虑到管道的设计压力范围, 参照现有的塑料管道按照压力分类的方法^[13], 按照管道公称压力可以分为: 低压管道($p \leq 0.4 \text{ MPa}$)、中压管道($0.4 \text{ MPa} < p \leq 1.0 \text{ MPa}$)和高压管道($p > 1.0 \text{ MPa}$), 具体见表 1。

表 1 不同行业内压力管道的分类

行业	压力管道级别	管道压力范围
压力容器	低压管道	$0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$
	中压管道	$1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$
	高压管道	$10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$
	超高压管道	$p \geq 100 \text{ MPa}$
燃气工程	低压管道	$p \leq 0.01 \text{ MPa}$
	中压管道	$0.01 \text{ MPa} < p \leq 0.4 \text{ MPa}$
	次高压管道	$0.4 \text{ MPa} < p \leq 1.6 \text{ MPa}$
	高压管道	$1.6 \text{ MPa} < p \leq 4 \text{ MPa}$
灌溉输水	低压管道	$p \leq 0.4 \text{ MPa}$
	中压管道	$0.4 \text{ MPa} < p \leq 1.0 \text{ MPa}$
	高压管道	$p > 1.0 \text{ MPa}$

根据灌溉用管道材质的不同, 可以分为塑料管道、金属管道、水泥类管道和复合管道。考虑管道基质的重大不同, 将复合管道分为非生物基质复合管道和生物基质复合管道。具体分类见图 1。

1.1 塑料管道

塑料管道是采用热塑性或者热固性树脂制作的管道的统

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 国家科技计划课题项目“节水增粮高效灌溉关键技术与装备”(2014BAD12B05)。

作者简介: 白静(1986-), 女, 博士, 高级工程师, 从事农田水利和河流动力学方面的研究。E-mail: 625540202@qq.com。

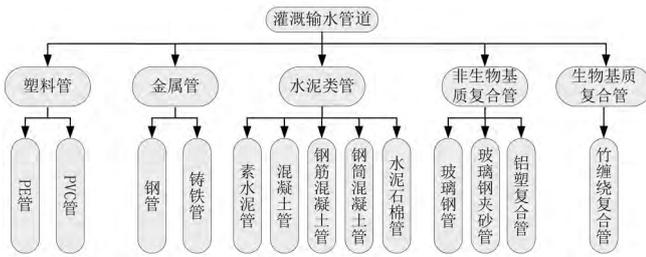


图1 灌溉管道按照材料分类图

称。塑料管道具有轻质高强、耐腐蚀、内壁光滑不结垢、施工和维修简便、使用寿命长等优点，塑料管道在农业领域应用广泛。根据《中国塑料管道行业“十三五”期间(2016-2020)发展建议》中的统计数据，塑料管道在农业领域的应用量最大，2015年应用比例占塑料总产量的29.0%^[14]。

(1) 按照塑料管道材质分类。塑料管道中三大主流管道为：聚氯乙烯(PVC)管、聚乙烯(PE)管和聚丙烯(PP)管等，分别占塑料管道总量的55%、30%和10%。灌溉用塑料管道通常为PVC管道和PE管道。

PVC管道以氯乙烯树脂单体为主，加入必要的添加剂，用挤出成型法制成的热塑性塑料圆管，具有一定的耐腐蚀性能，一般用于常温介质的管道。1936年德国开始开发使用PVC管材^[15]，我国从20世纪60年代引入PVC管道，最初主要用于化工领域，输送带腐蚀性的流体^[16]。根据其性能改进情况，PVC管道分为PVC-U管道、PVC-M管道、PVC-O管道^[17]，其各自特点见表2。在灌溉中一般选用PVC-U管道。在低压管道输水灌溉中也可选用薄壁PVC管。薄壁PVC管^[6,8,18]的工作压力为0.2 MPa，单位长度原料比普通PVC-U管降低约40%，单价降低约30%，依靠管材-土壤系统的组合强度，薄壁管材有足够的承压能力，在一般埋设条件下，其长期变形率可维持在5%以内。

表2 PVC管道分类及其特点

编号	分类	管道特征
1	PVC-U管	第一代PVC管，不含增塑剂
2	PVC-M管	采用增韧改性的聚氯乙烯树脂制造，管道韧性改善
3	PVC-O管	在管材软化点附近进行轴向和周向取向，机械性能优

聚乙烯塑料(PE)管是指以聚乙烯树脂单体为主，加入必要的添加剂，用挤出成型法制成的热塑性塑料圆管。PE管具有良好的低温性能和韧性，可以在冻土层中使用。根据加工时压力和密度的不同，可以分为低密度PE(LDPE)管、中密度PE(MDPE)管和高密度PE(HDPE)管^[19]。高密度PE(HDPE)管耐高温性能和机械性能好，低密度PE(LDPE)管的柔性更佳。

(2) 按照断面形式分类。塑料管道按照断面形式分为实壁管和结构壁管。实壁管指任意横截面为实心圆环的管道，而结构壁管指对管道的断面结构进行优化设计，达到节省材料、满足使用要求的管道，例如芯层发泡管、波纹管、缠绕管和加筋(肋)管等^[20]。在灌溉中常用的塑料结构壁管包括PVC-U波纹管、PVC-U加筋管和PE波纹管，见图2。其中PVC-U结构

壁管一般用于工作压力不大于0.2 MPa的低压输水灌溉工程^[13,21,22]，而大口径双壁波纹PE管则可用于渠灌区管道输水工程^[9,23]。

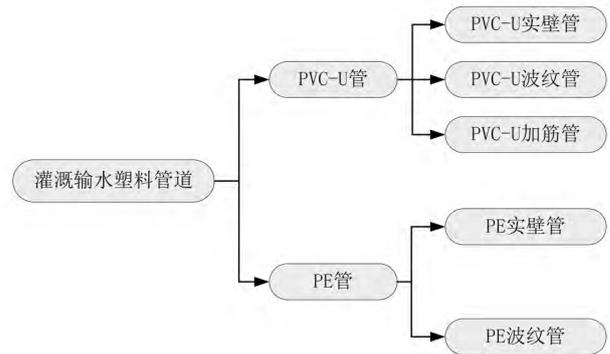


图2 灌溉输水塑料管道分类(断面形式)

1.2 金属管道

金属管道是用金属材料制成的管道的统称，包括：钢管(SP)和铸铁管等。钢管按制作工艺分为焊接钢管和无缝钢管两类^[10]。焊接钢管是指由钢板卷焊制作的钢管，按焊缝形式分为螺旋焊接钢管和直缝焊接钢管两种，见图3。螺旋焊接钢管一般采用埋弧焊接工艺，直缝焊接钢管按焊接工艺不同分为直缝埋弧焊管和直缝高频焊管。

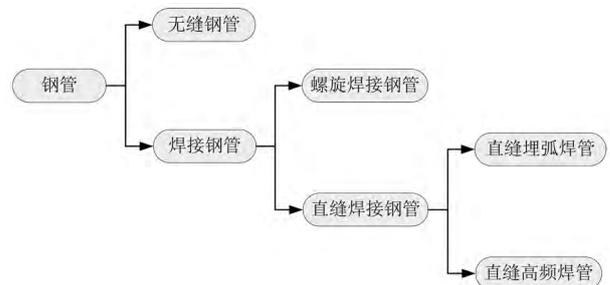


图3 钢管的分类

铸铁管道是用铁水浇铸的圆管的统称。按管道成型工艺可分为连续铸铁管和离心铸铁管，按照铁水的质量可以分为连续铸造灰铁管、连续铸造球铁管、离心铸造灰铁管和离心铸造球铁管^[24]，见图4。其中以离心铸造球铁管性能最优，简称球墨铸铁管，指由经过球化和孕育处理的优质铁水采用离心浇铸制作的圆管。西方发达国家从20世纪60年代开始逐渐淘汰了普通灰口铸铁管并开始采用了球墨铸铁管，我国1985年开始从德国、美国等引进了水冷金属型离心铸管技术及设备，开始生产球墨铸铁管^[8]。球墨铸铁管具有较高的强度、较好的韧性和防腐性能。

由于受到成本的限制，在节水灌溉工程中铸铁管和钢管一般用于不具备埋地条件下的山丘区、灌溉系统的首部、闸阀连接处和骨干引水管，不适用于田间输配水系统。钢管也用来制造大型喷灌机组^[8]。

1.3 水泥类管道

水泥类管道分为混凝土管、钢筋混凝土管、预应力钢筒混凝土管和石棉水泥管等^[10]。其共同的优点为耐腐蚀，寿命长，但这类管材脆性大，管壁厚，重量大，运输安装不便，一般用于流量较大的输水管道。在压力较小时选用混凝土管，压力较大

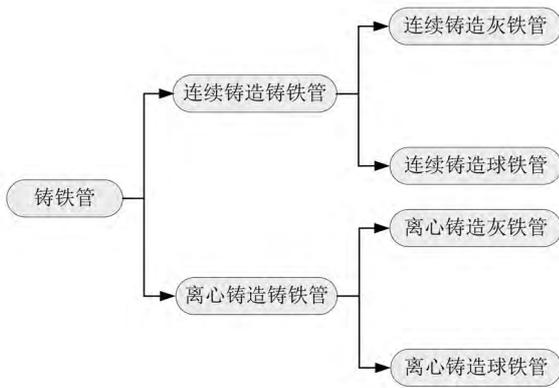


图4 铸铁管的分类

时采用钢筋混凝土管和钢筋筒混凝土管。石棉水泥管是用石棉纤维和水泥抄取成型的圆管,由于其抗冲击能力差、管径较小,灌溉中已很少使用。

预应力钢筒混凝土管(PCCP)广泛应用于市政、电力、水利等工程项目中。预应力钢筒混凝土管是由带钢筒的高强混凝土管芯在缠绕预应力钢丝后,再喷涂以水泥砂浆保护层制成的新型管材。按照工艺可以分为两类^[25-27]:内衬式预应力钢筒混凝土管(PCCPL)和埋置式预应力钢筒混凝土管(PCCPE)。预应力钢筒混凝土管在国外已有近80年的历史^[28],1939年PCCP管最早由法国邦纳(Bonna)公司研制,并敷设于巴黎郊区。1942年美国开始研究生产内衬式预应力钢筒混凝土管(PCCPL)。1952年开始生产埋置式管。我国PCCP管的研制、生产起步较晚^[29],1984年研制了直径600mm的PCCP管并在工程中成功试用。21世纪开始引进、生产和应用大口径的PCCP管,如南水北调工程北京段使用了直径4m的PCCP管^[25],表明其可以用于需长距离输水的灌溉工程。美国土木工程学会和材料学会认定PCCP管使用寿命为100年^[30],其缺点为自重较大,内径为4m的管道每米重量达9t以上^[31]。

1.4 非生物基质复合管道

非生物基质复合管道指传统意义上的复合管,是用两种或两种以上材料生产成的管壁结构管道的统称。如玻璃钢管、玻璃钢夹砂管、钢塑管、塑玻管等属于非生物基质复合管。灌溉工程中常用的非生物基质复合管有玻璃钢管和玻璃钢夹砂管等。

玻璃钢管(FRP)是由玻璃纤维和饱和聚酯树脂等组成的复合管道,也称为玻璃纤维增强塑料管。由于玻璃钢中的连续纤维拉伸强度和弹性模量较高,其机械强度可以达到或超过普通碳钢的水平,但密度远小于普通碳钢^[32]。按照制造工艺可以分为:纤维缠绕玻璃钢管和离心浇筑玻璃钢管^[33],其中纤维缠绕法比较常见。玻璃钢复合管产生于20世纪40年代中期,70年代进入工业化生产阶段,80年代我国引入了缠绕玻璃钢管生产线^[33]。

在玻璃钢离心浇筑成型的过程中,对于高刚度要求的管材通过加砂提高刚度,而对于承受内压较高的管材不加砂。以玻璃纤维及其制品为增强材料,以不饱和聚酯树脂等为基体材料,以石英砂及碳酸钙等无机非金属颗粒材料为填料,采用缠绕、离心浇筑工艺方法制成的管道,称为玻璃钢夹砂管或玻璃纤维增强塑料夹砂(FRPM)管^[34]。与玻璃钢管相比,玻璃钢夹

砂管的成本低,其特点为:重量轻,内壁光滑,耐腐蚀^[31]。玻璃钢夹砂管主要运用于给排水工程、农田灌溉等水利工程领域。

1.5 生物基质复合管道

竹缠绕复合管道是一种以竹材作为增强材料、合成树脂作为黏合剂,采用往复式机械缠绕工艺复合而成的具有较强抗压能力的新型生物管道^[35],具有节能环保、资源可再生等优势。竹缠绕复合管沿管径方向,由内到外依次为内衬层、增强层和外防护层(见图5)。内衬层防止内部基体开裂、介质外渗等现象发生,增强层是主要的承重承压部分,外防护层保护管材使其具有良好的长期耐久及耐候特性。在中试过程中,测试了竹缠绕复合管道在不利条件下的应用效果,如非正常安装施工、盐碱度高、融雪不规则沉降情况、高氯碱环境、公路载荷和冻土层。实践表明,竹缠绕复合管道应用效果良好。

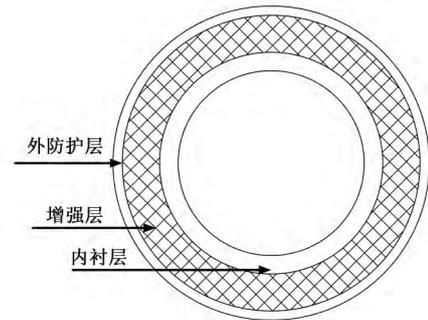


图5 竹缠绕复合管的结构示意图

2 管道的特性

2.1 管径范围、压力等级和密度

PVC-U管和PE管的管径一般小于630mm,常用于短距离输水和田间灌溉管道。普通焊接钢管和铸铁管的最大管径比普通塑料管稍大,其承压能力高,一般用于闸阀连接、首部工程和泵的进水和出水管道以及明铺的灌溉输水工程。玻璃钢夹砂管、预应力混凝土管、竹缠绕复合管的管径大于等于315mm(其中预应力钢筒混凝土管、预应力钢筋混凝土管的管径最小为400mm),最大管径可以达到3000~4000mm,最大承压能力在2.0MPa左右,因此主要用于长距离输水较大口径的管道工程(见表3)。

表3 不同类型管道密度、管径和承压范围的比较

管道类型	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	管径范围/ mm	压力范围/ MPa
PVC-U管	1350~1550	20~1000	0.2~2.5
PE管	915~965	16~1000	0.32~1.25
镀锌焊接钢管	7897~9616	10.2~2540	-
球墨铸铁管	7050	40~2600	10~40
玻璃钢夹砂管	1700~2500	100~4000	0.1~3.2
预应力钢筒混凝土管	230~9670 ^①	400~4000	0.4~2.0
预应力钢筋混凝土管	200~5552 ^①	400~3000	0.2~1.2
竹缠绕复合管	1150~1350	150~3000	0.2~1.6

注:①预应力混凝土管的密度一栏实际为单位长度的重量,单位kg/m。

密度和壁厚决定了管道单位长度的重量,直接影响工程的

投资和施工的便捷程度。密度从高到低依次为: 预应力钢筒混凝土管、镀锌焊接钢管、铸铁管、玻璃钢夹砂管、PVC-U 管、竹复合压力管和 PE 管。预应力钢筒混凝土管、预应力钢筋混凝土管、大口径镀锌焊接钢管和铸铁管需要借助专业机械吊装。

(1) PVC-U 管。在中高压输水灌溉工程中, 硬聚氯乙烯 PVC-U 管材^[36]中涉及 0.63、0.8、1.0、1.25、1.6、2.0、2.5 MPa 等 7 种压力规格的管道。管道尺寸涵盖 dn20~dn1000 的 28 种管径。

在低压输水灌溉工程中, PVC-U 管道^[37]涉及 4 种公称压力: 0.2、0.25、0.32 和 0.4 MPa。涵盖 dn75~dn315 的 12 种管径。硬聚氯乙烯 PVC-U 双壁波纹管管径有 dn63~dn1000 等 17 种规格, 硬聚氯乙烯 PVC-U 加筋管道有 3 种规格: dn150、dn225 和 dn315。PVC-U 管道密度介于 1 350~1 550 kg/m³ 之间^[13], 是 PE 管的 1.40~1.69 倍。

(2) PE 管。根据管道材料最小要求强度 (MRS) 的不同, 可以分为 PE63 级 (6.30~7.99 MPa)、PE80 级 (8.0~9.99 MPa) 和 PE100 级 (10.0~11.19 MPa) 管材。在给水管用聚乙烯 PE 管材^[38]中涉及 0.32、0.4、0.6、0.8、1.0、1.25 和 1.6 MPa 等 7 个压力等级, 管道公称外径涵盖 dn16~dn1000 的 29 种管径。密度介于 915~965 kg/m³ 之间。

(3) 普通焊接钢管。钢管的管径范围广泛, 推荐选用的普通焊接钢管的外径为 dn10.2~dn2540 之间, 共有 35 种规格^[39], 其中低压流体输送用管端用螺纹连接的焊接钢管公称口径的尺寸有: DN6~DN150 共 14 种规格^[40]。钢管本身的密度为 7 850 kg/m³, 在实际工程中需要在钢管上增加镀层用于防腐, 镀锌钢管的密度随着镀层加厚而增加, 修正系数介于 1.006~1.225 之间, 其密度范围为 7 897~9 616 kg/m³, 是 PE 管道的 8.18~10.51 倍。

(4) 球墨铸铁管。球墨铸铁管的公称直径介于 dn40~dn2600 之间, 共 30 种规格, 公称压力有: 10、16、25 和 40 MPa 等 4 个压力等级^[41]。其密度为 7 050 kg/m³, 比钢管稍轻, 是 PE 管的 7.31~7.70 倍。由于铸铁管耐腐蚀性差, 一般管道内外均需要设涂层。

(5) 玻璃钢夹砂管。玻璃纤维增强塑料夹砂管 (玻璃钢夹砂管) 的公称直径介于 dn100~dn4000 之间, 共 30 种规格, 公称压力有 0.1、0.25、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、2.0、2.5、3.2 MPa 等 12 种等级^[42], 其密度范围为 1 700~2 500 kg/m³^[43], 是 PE 管的 1.76~2.73 倍。

(6) 预应力混凝土管。预应力钢筒混凝土管的公称直径介于 dn400~dn4000 之间, 共 22 种规格, 公称压力有 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8 和 2.0 MPa 等 9 个压力规格^[27]。预应力钢筋混凝土管的公称直径介于 dn400~dn3000 之间, 共 17 种规格, 公称压力有 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 MPa 等 6 种压力规格^[44]。

(7) 竹缠绕复合管。竹缠绕复合管的公称内径介于 dn150~dn3000 之间, 共 23 种尺寸, 公称压力有 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6 MPa 等 8 个压力规格^[45], 其密度介于 1 150~1 350 kg/m³ 之间, 密度比 PVC 管小, 比 PE 管略大, 是 PE 管的 1.19~1.48 倍。

2.2 管道力学性能比较

管道的力学性能直接关系到有压条件下管道的工作状态, 由于玻璃钢夹砂管和 PCCP 管的性能参数是多种材料协同工作的结果, 在本节中只比较其他几种管道的参数, 见表 4。从拉伸强度和弹性模量上讲, PVC-U 管和 PE 管的弹性模量基本相当^[46, 47], 竹缠绕复合管是塑料管道的 2~3 倍^[45], PE 管的拉伸屈服应力比二者都小^[37, 38, 45]。镀锌焊接钢管和球墨铸铁管强度最高, 其拉伸屈服强度在 185 MPa 以上^[40, 41], 钢管的弹性模量和球墨铸铁管相当, 在 17 GPa 以上^[48], 是塑料管道和竹缠绕复合管的 67~244 倍。

表 4 不同类型管道的力学性能参数比较

管道类型	拉伸屈服 应力/MPa	弹性模量/ MPa	断裂伸长率/ %
PVC-U 管	≥40	846	15
PE 管	15.4 ^①	1 115 ^①	≥350
镀锌焊接钢管	≥185 ^②	2.07×10 ⁵	≥15 ^③
球墨铸铁管	≥270 ^④	1.75×10 ⁵	≥10
竹缠绕复合管	50 ^⑤ [4]	2 600	-

注: ①为 PE80 级管材参数; ②为牌号 Q195, 壁厚 $t > 16$ mm 时的值; ③为牌号 Q195, 外径 $D > 168.3$ mm 时的值; ④为离心球铁管参数; ⑤为长期抗拉强度设计值。

断裂伸长率是管道的韧性指标。所有管道中, PE 管道的断裂伸长率最大^[38], 表明 PE 管的韧性最好, 除此之外其他管道的断裂伸长率下限介于 10%~15% 之间^[37, 40, 41, 49]。

2.3 管道水力学性能比较

我们采用糙率系数 n 对不同管道的水力学性能进行对比分析。在过流量、管道坡度一定的情况下, 糙率系数 n 越大, 相应的管道直径也越大。不同类型管道的糙率系数见表 5。在一般条件下, PVC-U 管、PE 管和玻璃钢夹砂管的糙率系数较小, 介于 0.008~0.01 之间, 在设计中可能取较大值^[31, 50~52]。镀锌钢管和球墨铸铁管的糙率系数 n 在 0.010 5~0.014 之间变化^[52, 53], 当在管内设有聚氨酯内衬时, 管道的糙率系数 n 减小到 0.008 1 左右^[54]。PCCP 管的糙率系数 n 与制造工艺有直接关系, 我国目前预应力混凝土管糙率系数设计值的推荐范围为 0.011 0~0.011 5, 糙率系数试验值的范围为 0.009 5~0.012 3^[55], 竹缠绕复合管道的糙率为 0.011^[45]。

表 5 不同类型管道的糙率系数比较

编号	管道类型	糙率
1	PVC-U 管/PE 管	0.008~0.010
2	钢管	0.010 5
3	球墨铸铁管	0.012~0.014
4	玻璃钢夹砂管	0.008
5	预应力混凝土管	0.009 5~0.012 3
6	竹缠绕复合管	0.011

3 灌溉现代化对管道的需求

灌溉现代化的核心内涵为供水可靠化、调度灵活化、用水

精准化和信息化管理^[56]。灌溉现代化需要现代化的手段。我国是一个水资源供需矛盾十分突出的灌溉农业大国,实施水资源严格管理是一项长期国策,发展管道输水灌溉易于实现总量控制、定额管理,在灌溉现代化过程中发展管道输水灌溉是重要的方向。

(1) 管道的密闭性。开放式的渠道中水流为重力式流动,而管道内是一个密封的空间,可以加压提高水流流速,提高供水及时性。同时管道渗漏少,可埋于地下不易受到破坏,有助于提高供水的可靠性。

管道的密闭性有助于通过变频设备和闸阀联动调节,对管道内的水量和流速进行实时控制。水肥一体化是现代农业发展的趋势,除了节省人力外,容易实现肥随水走,提高灌溉施肥效率和养分利用率,减少施肥总量,降低因过量施肥带来的水体和环境污染问题,进而增加投资收益率^[57,58]。

(2) 管道的灵活性。管道的灵活性体现在其管径范围跨度大,其管径介于16~4 000 mm之间。管道的灵活性有助于实现输配水的灵活性。在输配水过程中,依据用水户的需求进行灵活的调度是供水可靠性的延伸,也是实现用水精准化的前提条件。灌溉调度的目的在于实现水资源的时空优化配置。一方面,管道可以深入田间地头,比渠道增加灌溉空间调度的灵活性;另一方面,管道输水速度快,可以缩短轮灌时间,管道输水比渠道输水更易于实现灌溉调度时间的灵活性。

管道的灵活性有助于实现用水精准化。用水精准化是灌溉现代化的最后一环,其表现为田间灌溉的现代化,其含义为借助信息化手段,确保灌溉水均匀、适量和及时送到作物根部,满足作物生长需求。用水精准化需要通过建设喷灌、滴灌、微喷灌和小管出流高效节水灌溉工程来实现。在建设过程中,需要在田间铺设大量的管道,实现灌溉地块的灵活分区、轮灌和自动控制,在节水的同时,节约劳动力,提高产量和肥料利用率^[59-61]。随着农村土地流转和规模化经营的出现,对高效节水灌溉规模化的需求也日益凸显^[62]。

(3) 管道内壁光滑。由于管道的糙率系数更小,在有压条件和自压条件下,流速比渠道大,在适当的条件下以管道代替渠道,可以提高供水及时性,为田间精准灌溉的实现提供保证。在输配水工程建设中,大口径管道的遴选是灌区管网建设的新需求,产出投入高、工作性能优良、耐候性好、糙率系数小、易运行维护的大口径管道是发展大型灌溉管网的理想选择。

4 结 语

本文对灌溉输水涉及的管道分类以及性能参数进行了归纳,对管道的分类进行了有效的扩充,首次将生物基质复合管纳入分类体系。与经典管道相比,新兴管道具备类似的性能和特征。

在农业集约化规模化发展过程中,规模化的灌溉管网是灌溉现代化的必然趋势。在发展管道灌溉的进程中,应当充分认识到管道输水灌溉的优越性;按照因地制宜和分步实施的原则,对输水工程和灌溉工程改造的过程中,充分论证管道输水

的可行性,分步推进;应该坚持在高标准条件下的低投入原则,增加灌溉工程投资,保证工程建设标准和质量。 □

参考文献:

- [1] 梁春玲,刘群昌,王韶华. 低压管道输水灌溉技术发展综述[J]. 水利经济,2007,25(5):51-52.
- [2] 周福国,高占义. 渠灌区管道输水灌溉技术[J]. 中国农村水利水电,1998(4):44-46.
- [3] 何武全,邢义川. 黄河上中游大型灌区推广管道输水发展节水灌溉的可行性分析[J]. 节水灌溉,2001(1):12-14.
- [4] 赵 华,高本虎,陆文红. 渠灌区管道输水灌溉技术试验研究[J]. 节水灌溉,1999(2):23-25.
- [5] 李晓峰. 低压管道输水灌溉技术在我国渠灌区的应用研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [6] 张茂堂. 低压管道灌溉在云南稻区的应用研究[J]. 节水灌溉,2007(8):79-80.
- [7] 刘群昌. 因地制宜开发低压管道输水灌溉管材[J]. 中国农村水利水电,1990(9):19-22.
- [8] 张 华,吴普特,牛文全. 节水灌溉管材评述[J]. 节水灌溉,2003(6):29-31.
- [9] 刘群昌. 低压管道输水灌溉技术[J]. 中国水利,2008(23):64-65.
- [10] CECS 83:1996,管道结构工程常用术语[S].
- [11] TSG21-2016,固定式压力容器安全技术监察规程[S].
- [12] 中国建筑工业出版社. 燃气工程设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [13] GB/T 23241-2009,灌溉用塑料管材和管件基本参数及技术条件[S].
- [14] 中国塑料加工工业协会塑料管道专业委员会. 中国塑料管道行业“十三五”期间(2016-2020)发展建议[Z]. 2016-04.
- [15] 汪晓鹏. PVC 管材工业的应用和发展趋势的综述[J]. 塑料工业,2011,39(S1):60-63.
- [16] 陈祖敏,栾晓明. PVC 塑料管材现状及发展策略[J]. 塑料,1998(3):11-14.
- [17] 李成吾,左继成. 国内外 PVC 管技术现状及发展方向[J]. 当代化工,2015(4):711-714.
- [18] 余 玲. 低压管道输水灌溉中薄壁聚氯乙烯管应用性能的试验研究[J]. 水利水电技术,1988(4):24-29.
- [19] 陈 枫. 新型塑料管及其应用[J]. 现代塑料加工应用,2003,15(1):54-57.
- [20] GB/T 19278-2003,热塑性塑料管材、管件及阀门通用术语及其定义[S].
- [21] QB/T 2782-2006,埋地用硬聚氯乙烯(PVC-U)加筋管材[S].
- [22] QB/T 1916-2004,硬聚氯乙烯(PVC-U)双壁波纹管[S].
- [23] 张建均,徐亦炯. 聚乙烯(PE)大口径双壁波纹管研制研究分析[C]//全国埋地塑料管应用与生产技术推广研讨会,2005.
- [24] 段振山,王林波. 我国离心铸造球墨铸铁管的发展[J]. 铸造,2001,50(12):717-719.
- [25] 彭寿海. 超大口径预应力钢筒混凝土管(PCCP)结构分析[D]. 北京:清华大学,2009.
- [26] 孙绍平,王贵明. 预应力钢筒混凝土管的特性[J]. 市政技术,

- 2006, 24(2): 121-123.
- [27] GB/T 19685-2005, 预应力钢筒混凝土管[S].
- [28] 秦允斌. 大直径 PCCP 管道在大型引水工程中的应用[J]. 特种结构, 2003, 20(3): 54-55.
- [29] 余洪方, 沈丽华. 国内预应力钢筒混凝土管技术现状调查与分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2005, 9(4): 26-29.
- [30] Ojdovic R P, Zarghmee M S. Condition Assessment an Performance of 50-Years Old LCP. New Pipeline Technology Security and Safety [C]// Proceedings of the ASCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction. ASCE, 2003: 82-92.
- [31] 余 玲, 刘群昌. 大口径 PCCP 管和 FRPM 管综述[J]. 中国农村水利水电, 2005, (7): 108-109.
- [32] 孙惠兰. 玻璃钢管的性能分析[J]. 水利水电技术, 2007, 38(5): 34-36.
- [33] 孔庆宝. 纤维缠绕玻璃钢管应用与发展[J]. 纤维复合材料, 1997, (2): 24-28.
- [34] 黄吉龙. 大口径玻璃钢夹砂顶管室内试验与数值分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [35] 王 戈, 邓健超, 陈复明, 等. 竹缠绕复合压力管的研究与开发[J]. 林业科学, 2016, 52(4): 127-132.
- [36] GB/T 10002.1-2006, 给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].
- [37] GB/T 13664-200, 低压输水灌溉用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].
- [38] GB/T 13663-2000, 给水用聚乙烯(PE)管材[S].
- [39] GB/T 21835-2008, 焊接钢管尺寸及单位长度重量[S].
- [40] GB/T 3091-2008, 低压流体输送用焊接钢管[S].
- [41] GB/T 13295-2008, 水及燃气管道用球墨铸铁管、管件和附件[S].
- [42] GB/T 21238-2016, 玻璃纤维增强塑料夹砂管[S].
- [43] 蒋鼎丰, 沙 垣. 大口径缠绕夹砂玻璃钢管及其技术经济分析[J]. 上海建材, 1999, (2): 14-17.
- [44] GB/T 5696-2006, 预应力混凝土管[S].
- [45] T/CECS 470-2017, 竹缠绕复合管道工程技术规程[S].
- [46] 郝忠文. 输水塑料管负压破坏因素研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2016.
- [47] 郑津洋, 鲁顺利, 马津津, 等. 占压下埋地聚乙烯管力学响应的数值模拟[J]. 中国塑料, 2014, 28(1): 60-64.
- [48] ANSI/AWWA M11-99, Steel Pipe - A Guide for Design and Installation[S].
- [49] 张 博. 双向自增强 PVC 管布袋法连续扩张装置的实验研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2009.
- [50] 王极红. 两种 PVC 塑料管道水力特性的试验分析[J]. 水利水电技术, 1995, (11): 55-58.
- [51] 孙 晋, 魏若奇, 者东梅, 等. HDPE 波纹管的设计寿命和水力学特性[J]. 塑料, 2015, 44(1): 97-102.
- [52] 黄 伟, 沈金娟. 太钢应急供水工程管线布置优化研究[J]. 人民黄河, 2013, 35(1): 99-100, 114.
- [53] 路 强. 大型倒虹吸管道综合糙率计算研究[J]. 水科学与工程学报, 2017, (3): 20-25.
- [54] 孙华林, 侯武民, 杨万良, 等. 聚氨酯内衬球墨铸铁管摩阻系数的测试[J]. 中国给水排水, 2012, 28(18): 76-79.
- [55] 郑双凌, 马吉明, 南春子, 等. 预应力钢筒混凝土管(PCCP)的阻力系数与粗糙度研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(3): 126-130.
- [56] 谢崇宝, 张国华. 灌溉现代化核心内涵及水管理关键技术[J]. 中国农村水利水电, 2017, (7): 28-32.
- [57] 袁洪波, 程 曼, 庞树杰, 等. 日光温室水肥一体灌溉循环系统构建及性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 72-78.
- [58] 师志刚, 刘群昌, 白美健, 等. 基于物联网的水肥一体化智能灌溉系统设计及效益分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 221-227.
- [59] 李宗礼, 赵文举, 孙 伟, 等. 喷灌技术在北方缺水地区的应用前景[J]. 农业工程, 2012, 28(6): 1-6.
- [60] 顾烈烽. 新疆生产建设兵团棉花膜下滴灌技术的形成与发展[C]// 中国农业节水与国家粮食安全高级论坛, 2009: 27-29.
- [61] 王凤民, 张丽媛. 微喷灌技术在设施农业中的应用[J]. 地下水, 2009, 31(6): 115-116.
- [62] 章少辉, 白美健, 刘群昌, 等. 规模化灌溉管网模拟仿真系统研发[C]// 中国水利学会农村水利专业委员会中国国家灌排委员会 2017 年学术年会论文集, 2017.

(上接第 33 页)

- [35] 郭亚军, 易平涛. 线性无量纲化方法的性质分析[J]. 统计研究, 2008, 25(2): 93-100.
- [36] Pawlak Z. Rough sets[M]. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [37] 苗夺谦, 范世栋. 知识的粒度计算及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(1): 48-56.
- [38] 米据生, 吴伟志, 张文修. 基于变精度粗糙集理论的知识约简方法[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(1): 76-82.
- [39] 邵良杉. 基于粗糙集理论的煤矿瓦斯预测技术[J]. 煤炭学报, 2009, 34(3): 371-375.
- [40] Wang Hongrui, Feng Qilei, Lin Xin, et al. Development and application of ergodicity model with FRCM and FLAR for hydrological process[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2009, 52(2): 379-386.
- [41] 高媛媛, 刘 琼, 王红瑞, 等. 基于 RS 和 GIS 的干旱河谷范围界定方法研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(1): 92-96.
- [42] 黄国如, 武传号, 向碧为. 基于粗糙集理论的东江流域水基系统健康集对评价[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(5): 1 345-1 351.
- [43] 姜连馥, 石永威, 满 杰, 等. 基于模糊粗糙集理论的建筑业综合评价[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(5): 729-734.
- [44] 韩祚祥, 张 琦, 文福控. 粗糙集理论及其应用综述[J]. 控制理论与应用, 1999, 16(2): 153-157.
- [45] 鲍新中, 张建斌, 刘 澄. 基于粗糙集条件信息熵的权重确定方法[J]. 中国管理科学, 2009, 17(3): 131-135.
- [46] 朱红灿, 陈能华. 粗糙集条件信息熵权重确定方法的改进[J]. 统计与决策, 2011, 27(8): 154-156.