

# 管道输水灌溉中的淤堵原因与防控措施

何文学,岳文俊,段永刚,王 茜

(浙江水利水电学院,310018,杭州)

**摘 要:**农田灌溉管道输水过程中的淤堵问题困扰着管道输水灌溉工程的推广应用,直接影响管道输水灌溉工程的正常运行与使用年限。通过对管道输水灌溉工程中管道淤堵原因分析,提出了农田灌溉管网淤堵防控措施。针对农田灌溉管网淤堵机理相对复杂、理论研究尚不深入的现状,建议从水源水质管理、灌溉管网规划设计与运行管理等方面入手,进一步研究灌溉管网淤堵防控的综合性技术措施,以最大限度提高管道输水灌溉工程使用寿命,维持灌溉输水管网高效运行。

**关键词:**农田灌溉;管道输水灌溉工程;淤堵原因;防控措施

**Study on causes and control measures of silting in irrigation projects with pipe conveyance//**He Wenxue, Yue Wenjun, Duan Yonggang, Wang Qian

**Abstract:** Silting problems in irrigation projects with pipe conveyance cannot be ignored in the popularization and application of the project, which directly affects the normal operation and service life of irrigation projects with pipe conveyance. Based on the analysis of the causes of silting problems in the project, the measures of preventing and controlling the silting have been put forward. Meanwhile, in view of the relatively complex silting mechanism of farmland irrigation pipe network and the fact that the theoretical research of it is not deep enough, the attention should be fixed on the aspects of the headwaters quality management, irrigation pipe network planning and design and operation management, and the comprehensive technical measures of silting prevention and control of irrigation pipe network must be further studied, so that the goal to improve the service life of irrigation projects with pipe conveyance and maintain the efficient operation of irrigation pipeline network can be achieved.

**Key words:** irrigation; irrigation projects with pipe conveyance; silting causes; measures of preventing and controlling

中图分类号:P618+P614.8

文献标识码:B

文章编号:1000-1123(2019)02-0032-03

管道输水灌溉工程由水泵加压或自然落差形成有压水流,通过管道输送到田间给水装置,并采用地面灌溉,具有节水、节地、省劳、增产、管理方便等优点,正在农业生产中大范围推广应用。水利部等5部委2016年发布的《“十三五”新增1亿亩高效节水灌溉面积实施方案》明确指出:“十三五”期间,全国将新增高效节水灌溉面积1亿亩(1亩=1/15 hm<sup>2</sup>,下同),其中管道输水灌溉面积4 015万亩。在实际推广应用,农田灌溉管道的淤堵问题始终是一个无法回避的技

术问题。此问题虽然不像滴灌系统灌水器堵塞那样备受关注,但随着管道输水灌溉工程推广范围的扩大与运行时间的延续,此问题也逐渐显现并影响灌溉管网的正常运行。

《管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2017)规定:采用多泥沙水源时,管道输水灌溉系统的设计流速应大于管道临界不淤流速。管道临界不淤流速宜通过试验确定;缺乏试验条件时,可按附录A规定的经验公式计算。然而管道淤堵问题并非只有引黄灌区或以多沙河流为灌溉水

源的灌区会遇到,南方平原河网灌区同样会遇到管道淤堵问题,而且以生物淤堵为特征的管道淤堵问题远比单纯的悬移质多沙水流为特征的物理淤堵问题复杂,准确确定不淤允许流速的阈值更加困难。受农作物种植结构与灌水习惯等因素的影响,设计中的灌溉分区往往不能按既定目标实现,使得农田灌溉管网的运行会偏离设计工况,管网中各管段的断面平均流速常常偏离设计值。因此研究管道输水灌溉工程管网淤堵问题仍然有重要的应用价值。本文分析了农田

收稿日期:2018-07-20

作者简介:何文学,教授,主要从事水利工程方面的教学科研工作。

输水灌溉管网淤堵的可能原因,对农田输水灌溉管网淤堵防控措施进行探讨,力求从管道输水灌溉工程设计、施工、运行管理与后期管护等方面入手,降低管网淤堵风险,提高管道输水灌溉工程运行的可靠性。

## 一、淤堵原因

### 1.物理淤堵

物理淤堵主要是灌溉水中含有的微小有机悬浮物和微小固体颗粒物引起的管道淤堵。一般包括藻类、水生植物和浮游动物的残体残屑、淤泥质颗粒等。其中,粒径小于 0.074 mm 的黏粒很容易在流场流速小而紊动作用较弱的情况下,出现凝结核、沉淀。当灌溉水源为河流、输水渠道时,水体中通常含有一定数量的悬移质泥沙,一旦进入管道,随着管道流速的降低或运行过程中某一段管道积水等,都可能发生沉积,附着在管壁上。当首部有水肥一体化设备时,水溶肥可能存在未彻底溶解的悬浮性微粒也同样会在管壁附着,逐渐引发管道物理淤堵。从灌溉输水管网的运行工况来看,农田灌溉管网通常是间歇性输水,运行工况受农田种植结构、降雨、灌水习惯等诸多因素影响,管道流速会出现不同程度的变化,导致静水淤堵和动水淤堵都可能发生。

静水淤堵的产生通常由于管网系统未设置排水排沙设施或灌溉过程结束时未及时放空冲洗管道。动水淤堵主要发生在灌溉管网运行过程中,随管网工作状态的变化,管道压力与流速发生相应的波动,当管道流速小于相应含沙量时的不淤允许流速时,水流的挟沙能力又不足以挟带水中的悬移质继续前进,这时就可能出现运行过程中的动水淤堵。

### 2.化学淤堵

化学淤堵与水中化学物质的种类密切相关。以地下水为灌溉水源的地区,如果该区域地下水中的碳酸盐、硫酸盐含量较高,则容易出现

水管道水垢沉积,沉积物主要成分为硫酸钙、碳酸钙、碳酸镁等。在水肥一体化实施过程中,无机肥料中磷酸钙镁、硫酸钙、磷酸铁等难溶性化学物质也容易在管壁沉积。某些有机肥料及灌溉水中含有的大分子有机物则可能发生絮凝沉淀。以平原河网区地表水为灌溉水源的管道输水灌溉工程,因该区域的经济社会发展水平往往比较高,水体富营养化现象比较突出,灌溉管网中残留的水体营养盐往往成为藻类和微生物繁殖生长的温床,化学物质加速生物淤堵。从实际情况来看,管道中逐年累积沉淀的水垢层和微生物累积层一般是很难彻底清除的。在给水管网中常用的管道清洗技术是高压冲洗,但不少农田灌溉输水管网在设计阶段并没有考虑管道高压冲洗需要,或为了节省管网造价,或受制于管网地形布置,在实际工程中,很多管道输水灌溉管网不具备高压冲洗功能,导致管道的运行状况越来越差。

### 3.生物淤堵

生物淤堵是指水中的生物质(包括藻类、浮游动物、细菌黏质等)在管道系统不断增长繁殖,并在管壁附着生长,通俗形象地称其为灌溉管道生长环。在天然地表水环境中,细菌等微生物很少以游离态存在,90%以上的微生物都会附着到固体基质表面,管壁毫无例外地成为微生物的附着壁面。这些组分复杂附生生物膜,主要是由微生物群体(细菌、原生动物、真菌等)、无机矿物颗粒和有机聚合物基质(胞外多聚物质、腐殖质等)等组成,表现为一种表面特征复杂的多孔介质结构。这些微生物群体在生长和增殖过程中,会分泌黏性的胞外多聚物,保证了附生生物膜整体结构的稳定,并进一步吸附水源中的悬浮颗粒物、微生物、有机质等,导致附生生物膜结构不断增长。而农田灌溉水源中氮、磷等营养物质的富集,又为灌溉输水管道中藻类及其他微生物的

生长提供了良好环境。水体中的微生物在管道系统内壁面不断地附着—生长—脱落—衰亡,当附生生物膜的生长厚度增加到一定程度,附着力会减小,在水流脉动和水力剪切力的共同作用下,生物膜会脱落。这又进一步加剧了生物淤堵的发生,对微灌系统而言,这是致命的堵塞物质,将引起灌水器报废。从实际情况来看,地表水源中的微小颗粒物、有机质、化学沉淀等物质难以完全消除,必然会在附生生物膜上富集,与之发生相互的黏附累积,降低管道过流能力。

## 二、淤堵防控措施

从前述原因分析可知,农田灌溉水源中残存的悬浮颗粒物、水体 pH 值、含盐量、微生物种类与数量、化学沉淀物种类与数量、有机质含量、氮磷营养物含量等,是管道出现淤堵现象的内因。管道结构形式的任何变化,都可能导致流场流速分布状况的变化,出现局部低流速、静水区在所难免,而灌溉管网的间歇性运行,尤其是灌水周期、灌水频率、工作压力、工作范围或区域等因素,也会引起管网系统工作状态的改变,这些都是导致管道淤堵现象发生的外因。认清引起农田灌溉管道淤堵的原因,就能够有针对性地采取相应的技术措施,其防控措施分述如下。

### 1.控制灌溉水源水浊度

农田灌溉水质必须符合《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)。该标准设定的控制项目共计 27 项,其中农田灌溉用水水质基本控制项目 16 项,选择性控制项目 11 项。这些基本的理化检测指标主要是为了防止土壤、地下水和农产品污染,保证农产品品质和保障人体健康,与农田灌溉管道防控淤堵关系并不大。《微灌工程设计规范》对水源中悬浮固体物、硬度、不溶固体、pH 值以及 Fe、Mn 和 H<sub>2</sub>S 含量的阈值提出了规定,且规定

“进入微灌管网的水不应有大粒径泥沙、杂草、鱼卵、藻类等物质”，主要是为了防止灌水器堵塞，至于输水管网的淤堵问题，并未给予特别关注。《管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2017)只是从管网设计的角度出发，对防控灌溉水中的悬移质泥沙提出了不淤允许流速控制条件，但农田灌溉管网的运行并非只有设计工况，管道中的流速变化也较大，且灌溉水源的水质除了悬移质泥沙之外，还有其他微生物、有机悬浮物等存在。按照《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)控制农田灌溉水质，按照《管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2017)控制管网流速大于不淤允许流速，并非能有效防控管网输水过程中的淤堵，应控制灌溉水源水的浊度，以最大限度降低管网淤堵风险。

## 2. 构筑多级沉淀过滤系统

从管道输水灌溉工程长期正常运行稳定运行的角度考量，有必要构筑多级沉淀过滤系统，以尽可能减少灌溉水中含有的颗粒悬浮物、微生物、藻类、水草等，降低水源与浊度，降低管壁结垢风险或减缓灌溉管道内壁生长环的生长速度。尽管有相关研究提出可采用磁化技术对灌溉水进行前处理，或添加化学制剂、生物菌剂等对灌溉水进行后处理，以减轻淤堵问题，但水处理成本相对较高，某些杀藻剂、杀菌剂(水霉菌)、管道清洁剂(一般是酸性化学物质)等会对农作物生长带来不利影响，实际工作中也很少应用。换言之，农田灌溉水不可能也没有必要像自来水一样进行预处理，其处理成本也是灌溉工程不可能承受的，只能采取造价相对低廉的沉淀过滤系统。初步设想的多级沉淀过滤系统应由以下三部分组成：

①拦污栅。在水源取水口设置多级多规格拦污栅，以拦截河流底部较大粒径的推移质泥沙以及枯枝败叶、

水草等水面漂浮物，实现水源的初级清洁。

②沉淀池。根据悬移质泥沙的粒径与水源水质特点，在拦污栅后设置沉淀池。沉淀池应根据当地地形情况、地质条件、来水水质状况等，通过多方案比较，确定其结构型式。沉沙池应具有排沙、冲沙功能，以去除池底沉积的泥沙等杂物。沉沙池应尽可能具备较大的容积，以兼具澄清、絮凝作用。在地表水环境状况普遍较差的现实条件下，根据需要与可能，设计必要的辅助性水环境改善措施，如设置适量的生物浮床，养殖适量的食藻食草生物等，以达到在沉淀池改善水质之目的。

③砂石过滤系统。农业生产或农产品品质对灌溉水水质要求更高时，可考虑设置砂石过滤系统，以进一步提高灌溉水质量，实现水源水的精细过滤。对于采用水肥一体化的项目，更要注意评估管道输送过程中灌溉水质对管网输水能力的不良影响，以保证灌溉管道长期高效运行。

## 3. 设计上优先保证管网流速达到允许流速

管道的允许流速是灌溉输水管网运行过程中出现的技术上可靠、经济上合理的流速，其值应大于临界不淤流速，且不致引起过大的水击压强升高值。从工程设计与运行管理的角度考虑，当管道流速满足以下几方面要求时，可以认为达到了允许流速要求。①在设计流量下，管内最小流速不宜低于0.3 m/s；当配水管网兼有施肥或施药任务时，管内最小流速不宜低于0.6 m/s。②自压管道输水灌溉系统设计流速不宜大于2.5 m/s；机压管道输水灌溉系统设计流速不宜大于2.0 m/s。③采用多泥沙水源时，管道输水灌溉系统的设计流速应大于管道临界不淤流速。

从降低年运行费与防止管道水击影响的角度考虑，要求的断面平均流速都不可能很大。而关注管道淤堵

问题，则更应该关注不淤允许流速。不淤允许流速值的选择，既影响输水管网的正常稳定运行，也直接影响管网工程的年运行费。选择不淤临界流速值偏大，无形中会增大供水水泵的设计扬程，导致工程投资成本与年运行费增加。选择的临界不淤流速值偏小，又极易引起管道结垢或悬移质泥沙沉积。《管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2017)附录中推荐了多泥沙水源管道输水临界不淤流速的计算公式，对于灌溉水中含有的有机悬浮物、藻类、微生物等情况，则缺少相应的不淤判断标准或相应的最小流速阈值。

## 4. 加强工程运行维护与管理

从运行管理的角度考虑，加强工程运行维护与管理是提高灌溉输水管网使用寿命的重要举措，是其他工程技术措施的重要补充，也是必不可少的灌溉管网淤堵防控措施。具体要求是：①水源工程应进行经常性的维护，及时清淤、除障或整修；②停灌期间，每隔1~2个月应进行1次养护性管网通水；③灌溉管网使用完毕之后，应及时排空管道中的积水；④有条件的情况下，可在较高压力条件下进行管道冲洗，把泥沙等管道沉积物从泄水点排出。实际工作中，以地表水为灌溉水源的管道输水灌溉工程很难从根本上消除水中固体微粒与水中微生物、有机悬浮物等，只能通过加强工程运行维护与管理手段，提高灌溉管网的运行可靠性。受渠灌区运行管护习惯的影响，管道输水灌溉工程的运行管理依然比较粗放，有必要在政策、制度、人员、经费等方面给予倾斜，以便从根本上提高管道输水灌溉工程管护水平。

## 三、结论和建议

管道淤堵问题不仅是北方浑水灌区亟须解决的技术问题，也是南方地区利用河网水系发展管道输水灌溉工程面临的新问题。(下转第37页)

伸率(纵横) $<90\%$ ,垂直渗透系数大于 $1 \times 10^{-3}$  cm/s,等效孔径 $O_{90}$ 为 $0.07 \sim 0.2$  mm;此外要求此布用双线包缝拼合。土工布应注意现场保管,避免长时间暴露在阳光下,不能划破,铺设平整,松紧度均匀,端部锚着牢固。

### 3.石笼施工步骤

首先整平护坡基面,在基面上铺设土工布;土工布铺设完毕后,在土工布上摊铺 $10$  cm碎石垫层,要求碎石摊铺厚度均匀,无突起部分。在碎石层上绑扎组装石笼,在确保石笼的间隔网片与网身呈 $90^\circ$ 相交后,进入绑扎、组装石笼工序,用同材质组合丝绑扎,用双股线绞紧。石笼间相邻的上下边框线或折线交接处采用螺旋组合丝绞绕收紧联结,联结成为一整体。采用人工填入填充料块石,外露面整平后,进入石笼封盖施工。在盖片与石笼顶部边框线、盖片与盖片间的相交线,每间隔 $15$  cm处绑扎一道,并将盖片与盖片、盖片与石笼边框线及石笼之间的相交线全部绑扎在一起,使石笼紧密联结成一个整体。

### 4.施工工艺要求

先由人工完成对坡面进行清理,清除大块颗粒和杂质。再对平整完成的坡面进行边线、高程放样。自下而上铺设石笼时,护坡底边要与石笼镇脚严密靠拢,网片连接采用缝制式连接,上下网片要有连接线进行固定。块石的选择符合设计尺寸要求,石头的摆放要牢固、上面要平,填缝的小石块要大于网眼。完成装石后要进行检测,合格后进行封盖。

## 五、质量管理和控制

对于石笼格宾网,严格按照设计图纸要求进行拼装;网箱安装后,及时对轴线、标高等进行复测;装石料时需采用人工逐层码放;石笼格埂或镇脚基槽开挖时严格控制线型及标高,槽底必须平整;石笼网箱安装时不得有倾斜、变形等情况。石笼块石填充到顶经各方检查合格后方可封盖。

金泽水库在建设过程中采用生态石笼技术进行护坡处理,不仅遵循

了自然规律,一定程度上还改善了人为因素对大自然生态环境的破坏情况,充分体现了金泽水库生态水库的设计理念,同时也具有很强的功能性,具有造价经济、施工简单等优点,值得借鉴和推广。

参考文献:

- [1] 王宏俊.生态石笼护坡在上海迪士尼围场河中的应用[J].水利规划与设计,2013(8).
- [2] 程胜衣,黄健华.罗泾基地护厂河工程的生态石笼护坡施工质量控制[J].上海水务,2006(2).
- [3] 董淑臻,孙述祥,郑梅,等.格宾石笼护坡技术在大沽河除险加固中的应用[J].山东水利,2006(10).
- [4] 郭德平,李美珍.铝锌合金钢丝石笼护坡技术在昆都仑河防洪堤防的研究应用[J].今日中国论坛,2012(11).
- [5] 苏容,郭竞逸,田宇.浅谈水利工程生态石笼护岸及其施工运用[J].河南水利与南水北调,2017(11).

责任编辑 安天杭

(上接第34页)浑水灌区的影响因素以悬移质泥沙为主,研究时间比较长,有一定的研究成果,《管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2017)也推荐了不淤流速计算公式。但对南方河网地区藻类与水生生物、微生物、营养盐相对富集的水体而言,依然缺少相应的灌溉输水管道物理淤堵、化学淤堵、生物淤堵及其相互交织影响下的农田灌溉管网淤堵评判方法。本文根据上述农田灌溉管网淤堵的原因,结合工程实践提出相应的淤堵防控措施,以保证管道输水灌溉工程正常稳定运行。

从实际情况来看,由于不同灌区的灌溉水源条件、灌区地形、管网布置形式、农业种植结构、农民灌水习惯等基本条件差异较大,管道输水灌

溉工程的管网设计方法又偏于简单,通常是采用经济流速或经验公式确定管径,按经验公式计算沿程水头损失,使得设计成果与实际运行效果存在偏差,不少实际灌溉管网在运行过程中都出现了不同程度的管道淤堵现象。为此,建议开展以下两方面的研究:①针对不同水质特性(含泥沙、微生物、营养盐等),开展灌溉管网优化设计与防止管道淤堵方面的试验研究(包括实际工程的原型观测研究),探索不同运行管理方式对减轻管道淤堵的影响,最大限度提高管道输水灌溉工程的使用寿命,维持灌溉输水管网高效运行。②从管道输水灌溉工程的规划布置、输配水管网设计、管材选定及管道附属设施布设等方面入手,对管道输水灌溉工程的技术体系进行分析和模式化研究。从源

头控制开始,探索综合性技术措施,通过拦截、沉沙、絮凝以及可能的水质改善措施,提高进入灌溉管网的水流品质。通过合理设计临界不淤流速、合理布置干支管控制设施以及及时放空管道积水等管护措施,降低管网运行过程中泥沙等杂物淤堵风险,实现管道输水灌溉工程的长期高效稳定运行。

参考文献:

- [1] 管道输水灌溉工程技术规范(GB/T 20203—2017)[S]. 2017.
- [2] 李云开.滴灌系统灌水器堵塞机理与控制方法研究进展[J].水利学报,2018,49(1).
- [3] 郑运鸿,等.基于超声导波的灌溉管道生长环检测技术研究[J].农机化研究,2013(1).

责任编辑 杨轶