

大型自压灌溉系统减压方式研究

游磊¹ 王婷²

1 新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司，新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，830000；

2 新疆维吾尔自治区耕地质量监测保护中心（新疆维吾尔自治区农田建设质量评价中心），新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市，830000；

摘要：大型自压灌溉系统利用地形高差实现自流输水，具有显著的节能优势，但复杂地形易引发局部超压、水锤冲击及压力分布不均等问题，严重威胁系统安全与灌溉均匀性。科学合理的减压措施是保障系统稳定运行的关键。本文系统研究了减压池与设备减压（以减压阀为主）两种核心减压方式。减压池通过形成自由水面重置压力基准，实现阶跃式减压，具有消能彻底、运行可靠、隔断水锤等优点，适用于地形突变区域，但存在工程量大、占地广等局限。减压阀通过节流消能实现下游压力的连续精确调控，适应流量变化，安装灵活，但对水质要求高，维护量大。研究表明，二者各具优势，在大型复杂系统中应协同应用。推荐采用“减压池进行主干减压与水锤防护+减压阀实施精细调压”的复合模式，构建层次化、功能互补的压力调控体系，提升系统安全性与运行效率，为大型自压灌溉系统的优化设计与工程实践提供技术支撑。

关键词： 大型自压灌溉系统；减压方式；减压池；减压阀；压力调控

DOI： 10.69979/3060-8767.25.11.030

引言

水资源短缺已成为制约农业可持续发展的关键瓶颈。在高效节水灌溉技术快速发展的背景下，大型自压灌溉系统凭借地形高差实现自流输水，显著降低了能源消耗与运行成本，在山区、丘陵等地区展现出广阔应用前景。然而，复杂多变的地形导致系统内部水力条件复杂，局部超压、水锤冲击及压力分布不均等问题突出，极易引发管道破裂、设备损坏和灌溉不均，严重威胁系统安全与运行效率。因此，科学有效的减压技术成为保障系统稳定运行的核心环节。减压池与减压阀作为当前主流的减压方式，分别通过自由水面重置压力和节流调节实现压力控制，各具特点。

1 大型自压灌溉系统压力特性分析

1.1 系统构成与工作原理

大型自压灌溉系统通常由高位水源、输水管、配水支管、控制阀件及田间灌水设施构成。系统运行依赖于水源与灌溉区域之间的地形高差，利用重力势能将水从高处水源逐级输送至田间。高位水库或调节池作为系统起点，水流经封闭管道在压力状态下输送，途中通过分水节点向不同高程的支管配水，最终进入滴灌带、喷头等灌水器完成灌溉任务。整个过程无需外部动力提水，节能效果显著。由于水流始终在密闭管道中运行，其压力不仅来源于上游水位高程，还受管道摩擦、局部阻力

及流量变化的影响。系统设计需综合考虑地形分布、用户分布与用水规律，确保各区域在不同工况下均能获得适宜的工作压力。

1.2 压力问题成因

系统在运行过程中常面临多种压力异常问题。在地势陡降的管段，上游高位水体产生的压力迅速增加，若未及时消减，极易超过管道和设备的承压极限，造成爆管或接头损坏。阀门或灌水单元的启闭操作会引发水流速度突变，产生水锤现象，形成瞬时高压或负压，对管网结构造成冲击。不同支路因高程差异大，导致各用户入口压力不一，部分区域压力过高而另一些区域则可能压力不足，影响灌溉均匀性。长距离输水过程中的沿程水头损失也会累积，使得末端区域即使处于较低高程，仍可能出现压力偏低的情况。这些压力波动和分布不均的问题不仅缩短设备寿命，还直接影响灌水器的出流稳定性，降低灌溉质量，严重时可能导致系统停运。

1.3 减压需求与设置原则

为保障系统安全稳定运行，必须在关键位置设置减压设施。减压的主要目标是将局部高压降至管道和灌水器可承受的合理范围，同时平衡不同区域的压力差异。减压节点通常选择在地形高差突变处、主干管向支管分水前、或用户集中接入点上游。设计时需依据水力计算结果，明确各节点的进口压力、流量范围和所需出口压

力，据此选择合适的减压方式。减压设施应具备足够的消能能力，能适应系统流量变化，并具备一定的抗冲击和自调节能力。对于高含沙水源或寒冷地区，还需考虑防淤、防冻等特殊要求。科学布设减压点，不仅能有效控制压力，还能提升系统整体运行效率与可靠性。

2 减压池减压技术与应用

2.1 减压池工作原理

减压池是一种通过物理结构实现压力重置的减压设施，其核心在于利用自由水面切断上游压力传递。当高压水流从管道进入减压池时，流速迅速降低，动能在池内通过紊动和摩擦转化为热能消散。水流与池中静水体衔接后，上游的承压状态转变为明流状态，压力水头被“归零”并以池内水位作为新的基准。下游管道的起始压力则由池内水位与出口高程之差决定，从而实现压力的阶跃式下降。这种机制不依赖机械部件，减压效果稳定且不受流量小幅波动影响。由于水流在池中与大气接触，上游可能存在的水锤压力波在此处被完全吸收，无法继续向下游传播，对保护下游管网具有重要意义。减压池特别适用于地形落差集中、需要大幅降低压力的关键节点，是保障系统安全的重要屏障。

2.2 结构组成与设计要点

一个完整的减压池通常包括进水口、池体、溢流设施、出水口、通气孔和排沙装置。进水口常设置消能坎或孔板，防止高速水流冲击池底造成破坏。池体需具备足够容积，以维持水位稳定并容纳瞬时流量波动。溢流堰或溢流管用于控制最高水位，防止池体溢出。出水口连接下游管道，常配备阀门或浮球阀，用于调节出流量，保持池内水位在设定范围内。通气孔确保池内气压与大气相通，避免形成真空影响水流。排沙孔则便于定期清除沉积泥沙，防止淤积影响功能。设计时需精确计算所需减压量，合理确定池底和溢流堰高程。池体结构应坚固耐久，适应当地地质与气候条件，寒冷地区需采取防冻措施。整体布局应便于运行管理和维护操作。

2.3 减压效果影响因素分析

减压池的实际效果受多种因素影响。地形条件决定了其设置位置和减压幅度，陡坡地带更易发挥其优势。进水流量的稳定性影响池内水位波动，流量突变可能导致水位骤升或骤降，影响下游压力稳定。水中含沙量较高时，泥沙易在池底沉积，长期积累会减少有效容积，削弱消能效果，因此需定期清淤。藻类或杂物滋生可能堵塞出水口或通气孔，影响正常运行。风力和气温变化

在开阔池体中可能引起水面波动，寒冷天气则存在结冰风险，可能损坏结构或阻碍水流。

3 设备减压技术与应用

3.1 减压阀工作原理与类型

减压阀是实现管道系统下游压力自动调节的核心装置，其基本原理是通过内部节流结构消耗多余水头，从而稳定出水压力。当水流经过阀芯与阀座之间的狭窄通道时，产生局部阻力，将部分压力能转化为热能散失，实现减压。阀门内部设有感应元件，通常为膜片或活塞，用于实时感知下游压力变化。当检测到压力低于设定值时，阀芯自动开大，减少阻力，增加流量；反之，当压力偏高时，阀芯关小，增大阻力，降低流量。这一过程形成闭环调节，使下游压力始终保持在预设范围内。根据结构和控制方式不同，减压阀可分为直动式和先导式。直动式结构简单，适用于小口径、低流量场合；先导式通过导阀控制主阀动作，调节更精确，响应更快，常用于大口径或对压力稳定性要求较高的系统，是大型灌溉工程中的主流选择。

3.2 关键设备选型与设计

减压阀的选型必须结合系统实际工况进行综合判断。需要明确的最大流量、最小流量、进口压力范围以及所需的出口压力是选型的基础参数。阀门的口径应满足设计流量要求，避免因通流能力不足造成额外压损或流量受限。阀体材质需耐腐蚀，密封材料应适应灌溉水质，防止老化或溶胀。在含沙或杂质较多的水源条件下，必须在阀前加装过滤器，防止颗粒物进入阀腔导致阀芯卡阻或密封面磨损。安装位置应避开弯头、变径等易产生涡流的区域，保证上游有足够长度的直管段，以确保压力感应的准确性。调试阶段需在系统运行状态下进行，通过调节弹簧预紧力设定目标压力，并观察不同流量下的压力波动情况，确保调节性能稳定可靠。

3.3 其他设备减压方式

除了减压阀，系统中也可采用其他设备实现减压功能。调压阀在功能上与减压阀相近，部分产品具备压力调节与超压泄放双重功能，适用于需要多重保护的节点。孔板是一种结构简单的固定节流装置，通过在管道中设置带孔的金属板产生恒定压降。其优势在于成本低、无活动部件，但减压值随流量频繁变化，无法适应流量波动，仅适用于流量长期稳定的特定位置。固定开度的节流阀也可用于简易减压，但调节不便，精度较低。这些方式通常作为减压阀的补充或在特定条件下替代使用。

3.4 优势与局限性

设备减压方式的最大优势在于调节精度高、响应迅速，能够适应系统流量的动态变化，维持下游压力高度稳定。装置结构紧凑，安装灵活，不占用额外土地，适合空间受限或用户分散的区域。部分智能型减压阀支持远程监控和数据传输，便于集成到自动化管理系统中。然而，其对水质较为敏感，杂质易导致内部零件磨损或卡滞，增加维护频率。长期运行中，弹簧疲劳、密封老化等问题可能影响调节性能，存在失效风险。在遭遇强烈水锤时，减压阀本身也可能受损。

4 减压方式对比与协同应用策略

4.1 减压池与设备减压综合对比

减压池和减压阀在工作原理和应用场景上存在明显差异。减压池依靠自由水面实现压力重置，减压效果由水位高程决定，稳定性强，能彻底消除上游水锤对下游的影响，适用于地形突变、需要大幅降压的位置。其结构简单，维护相对容易，对水质要求不高，但建设需开挖土方、浇筑池体，投资较大，占地面积广，且存在蒸发和渗漏损失。减压阀通过内部节流调节实现压力连续控制，出口压力可精确设定，适应流量变化能力强，设备体积小，安装灵活，适合在空间受限或用户入口处使用。但其运行依赖精密部件，水中杂质易造成阀芯堵塞或磨损，需配备过滤器并定期维护。在寒冷地区还可能因结冰影响正常工作。

4.2 协同应用模式

在大型复杂灌溉系统中，单一减压方式难以满足全系统需求，协同应用成为更优选择。一种常见模式是“减压池+减压阀”级联布置。在系统上游高落差段设置减压池，承担主要减压任务，将高压水流降至中间压力水平，同时阻断水锤传播。在此基础上，于下游各支管或重点用户前安装减压阀，对压力进行精细调节，确保末端压力稳定在灌水器所需范围。另一种模式是以减压池作为区域压力控制中心，在台地边缘或主干分水点设置池体，形成稳定的压力基准，再在区域内对特殊地块或高精度灌溉单元配置减压阀进行局部补偿。这种“主干稳压、末端精调”的策略兼顾了系统安全与运行精度，提升了整体调控能力。

4.3 协同应用设计原则

实现减压设施的有效协同，需遵循系统化设计思路。应基于详细的地形数据和水力计算，明确全系统压力分布特征，科学划分压力控制区段。减压池的位置应选在地形转折明显、压力突变的节点，发挥其大范围降压和水锤隔离作用。减压阀则布置在需要精确压力控制的下游分支或用户接口，其进口压力应来自减压池的稳定出流，避免直接承受上游高压波动。两者之间的管道应有足够长度，保证水流平稳。设计中还需统一考虑监控与维护，如在关键点设置压力监测仪表，建立联动管理机制。通过功能互补、层级分明的布局，构建安全、高效、可控的综合减压体系。

5 结论

大型自压灌溉系统在节能节水方面优势显著，但复杂地形带来的超压与水锤问题威胁系统安全运行。减压池和减压阀作为两类主要减压方式，各具特点。减压池通过自由水面重置压力，减压稳定、抗冲击能力强，适用于地形突变处的大幅度降压，但工程量大、占地较多。减压阀则能实现下游压力的连续精确调节，设备紧凑、适应性强，但对水质要求高，维护需求大。研究表明，单一方式难以满足复杂系统需求，二者协同应用更具优势。采用“减压池主导主干减压、减压阀实施末端精调”的复合模式，可构建安全、稳定、高效的压力调控体系，为大型自压灌溉系统的优化设计与长效运行提供有效技术路径。

参考文献

- [1]薛银民.深筒式消能井在自压输水管道中的应用[J].科学技术创新,2025,(14):221-224.
- [2]赵哇马当周.农业高效节水灌溉技术现状及分析[J].农家参谋,2021,(11):191-192.
- [3]刘小飞.新疆自压输水骨干管网系统优化研究[D].新疆农业大学,2018.
- [4]雷小虎.新疆大中型灌区自压输水管网设计方案分析研究[D].石河子大学,2018.

作者简介：游磊（1990年11月-），男，汉族，河南通许县人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：水利工程设计、节水灌溉设计及研究、灌区规划。