

自压输水骨干管网系统优化研究

金永超

身份证号码: 6542231985****2413

摘要: 本文以某工程为研究对象, 以理论结合实际的方式, 首先结合自压管道输水特点, 从四个角度建立起输水管材的综合评价指标体系, 比选了六种可用管材, 对管材选取进行了优化, 其次以改进的粒子群算法对管径进行了优选。

关键词: 自压管网系统; 管材; 管径

Study on Optimization of self-pressure water transmission pipe network system

Yongchao Jin

ID Number: 6542231985****2413

Abstract: Taking a project as the research object, in the way of combining theory with practice, firstly, combined with the water transmission characteristics of self-pressure pipeline, this paper establishes a comprehensive evaluation index system of water transmission pipes from four angles, compares and selects six kinds of available pipes, optimizes the selection of pipes, and then optimizes the pipe diameter with improved particle swarm optimization algorithm.

Keywords: self-pressure pipe network system; Pipe; pipe diameter

引言:

自压输水管网系统有着更好的灌溉效率, 自1960年来, 国外即开始了对管网系统的优化研究, 我国自1980年也开启对该领域的研究, 经过多年来的努力, 在管网系统的优化方面已经取得了较大的进步。如在管材优化方面, 徐建新提出多目标模糊优选理论模型, 为优化设计提供决策依据, 在管径优化方面, wei等人通过概率确定局部搜索粒子, 为其取得更好的优化结果。但当前人们的研究还集中在管网优化模型以及优化算法方面, 对其所用管材等的研究还较少, 而在管道工程中, 管材等的选用占据了多数资金, 因此, 以管材及管径的角度进行管网系统的优化, 对确保管网建设的经济性和安全性有着重大意义。

一、多目标模糊综合评判优选自压输水管材

管材费用在输水管道工程中占据了一半以上投资,

在官网优化中优选管材是重要内容, 对节约资金、确保安全有着重要作用。管材的优选除了考虑经济因素之外, 还需综合其余因素进行考虑。对输水管材的影响有较多因素, 如何确保所选取的影响因素具有针对性, 对模型准确性而言确保指标体系的合理架构非常重要。本文基于自压输水管材的特点, 建立如下图1所示的模糊综合评价指标体系。

1. 工程概况

采用模糊综合评判首先需要构建模糊综合评价指标体系, 再对各特征指标模糊权向量以改进AHP法进行构造, 通过所建立的隶属函数对评价矩阵进行构建, 并以模糊运算的方式计算评价矩阵以及权向量以取得模糊综合评价系数, 从而对管材类型进行优选。为使研究过程更为直观, 本文将以某工程为例进行分析。

某灌区高效节水灌溉工程中所处地层以卵砾石层为主, 为中、强透水层, 地表水有着较高的矿化度, 会对普通硫酸盐水泥产生较强的腐蚀性。该工程中的自压输水骨干管网系统中有多种输水管材, 根据现有管径大小, 可供选取的管径大小范围为: 16m-1.4m。

作者简介: 金永超 (1985-08), 男, 汉族, 新疆沙湾人, 大学本科, 工程师, 主要从事金沟河镇农业 (畜牧业) 发展服务中心办公室相关工作。

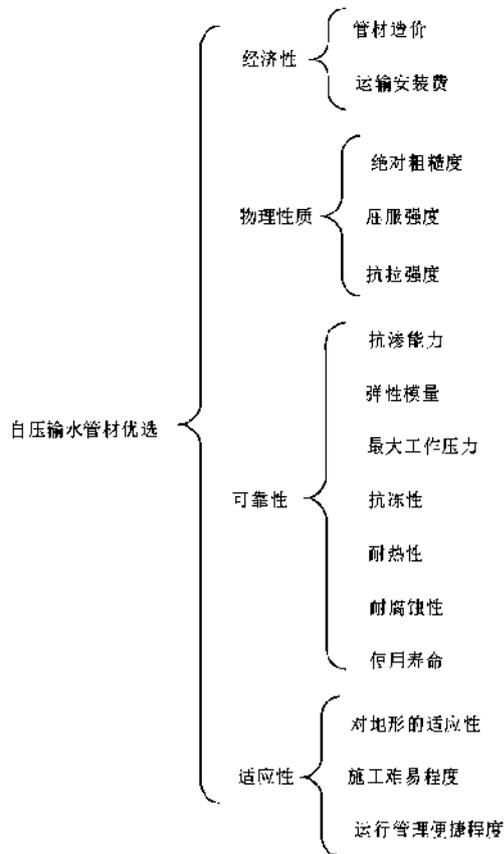


图1 综合评价指标体系

2. 模糊综合评价

对五种可用地理输水管材进行比选, 其综合单价如下表1所示。以邀请勘察三名专家打分的方法确定管材的定性评价指标等级, 所得定量指标如下表2所示。

表1 管材综合单价表 单位: 元/m

| 管径 | 玻璃钢管 | | | 钢管 | | |
|------|---------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 |
| 0.4m | 427.6 | 18.8 | 446.2 | 423.8 | 79.2 | 503.2 |
| 0.6m | 487.8 | 23.4 | 30.0 | 587.6 | 112.1 | 701.5 |
| 0.8m | 751.5 | 28.8 | 780.4 | 704.8 | 162.8 | 867.7 |
| 1.0m | 1173.8 | 46.8 | 1220.8 | 892.8 | 189.1 | 1007.8 |
| 1.2m | 1528.6 | 61.0 | 1590.3 | 1586.8 | 261.0 | 1847.3 |
| 1.4m | 2182.9 | 87.1 | 2270.1 | 2160.1 | 310.8 | 2470.8 |
| 管径 | 预应力混凝土管 | | | 球墨铸铁管 | | |
| | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 |
| 0.4m | 535.1 | 32.0 | 567.1 | 535.1 | 32.0 | 567.1 |
| 0.6m | 853.6 | 51.1 | 904.8 | 853.6 | 51.1 | 904.8 |
| 0.8m | 1115.1 | 66.7 | 1182.0 | 1115.1 | 66.7 | 1182.0 |
| 1.0m | 1351.7 | 81.1 | 1432.8 | 1352.7 | 81.1 | 1432.8 |
| 1.2m | 2206.2 | 132.3 | 2338.7 | 2206.2 | 132.3 | 2338.7 |
| 1.4m | 2850.3 | 171.1 | 3021.3 | 2850.2 | 171.1 | 3021.3 |

| 管径 | PCCP管 | | | PVC-U管 | | |
|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 | 单价 | 运输安装费 | 综合单价 |
| 0.8m | 926.1 | 92.5 | 1018.5 | - | - | - |
| 1.0m | 1075.2 | 277.1 | 1352.4 | | | |
| 1.2m | 1228.1 | 552.6 | 1781.1 | | | |
| 1.4m | 1542.5 | 674.0 | 2216.6 | | | |
| 1.6m | - | - | - | 63.2 | 5.3 | 68.6 |
| 2.0m | | | | 95.5 | 6.2 | 101.8 |
| 2.5m | | | | 152.8 | 8.4 | 161.3 |
| 3.15m | | | | 237.6 | 11.6 | 249.3 |
| 4m | | | | 383.0 | 15.1 | 398.2 |
| 6m | | | | 523.1 | 20.3 | 543.5 |

表2 管材定量指标特征值

| 特征值 | 管材类型 | | | | | |
|------------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|
| | 玻璃钢管 | 钢管 | 预应力混凝土管 | 球墨铸铁管 | PCCP管 | PVC-U管 |
| 绝对粗糙度/mm | 0.05 | 2.20 | 2.90 | 2.20 | 2.90 | 0.90 |
| 屈服强度/MPa | ≥ 310 | ≥ 340 | ≥ 330 | ≥ 290 | ≥ 230 | ≥ 30 |
| 抗拉强度/MPa | ≥ 220 | ≥ 480 | ≥ 290 | ≥ 410 | ≥ 1460 | 47-49 |
| 弹性模量/Gpa | 60 | 205 | 190 | 150-158 | 200 | 3.1 |
| 最大工作压力/MPa | 0.20 | 0.15 | 0.05 | 0.40 | 0.70 | 0.6 |
| 使用寿命/a | 40 | 20 | 30 | 50 | 70 | 40 |

通过AHP法对模糊权向量进行计算, 从综合评判的数学模型中对模糊评判向量进行计算, 可得:

$$DN800: \{B\}=[0.220, 0.191, 0.177, 0.204, 0.203]$$

$$DN1000: \{B\}=[0.224, 0.193, 0.167, 0.211, 0.204]$$

$$DN1200: \{B\}=[0.275, 0.181, 0.156, 0.200, 0.182]$$

$$DN1400: \{B\}=[0.301, 0.171, 0.150, 0.185, 0.184]$$

从模糊综合评价系数来看, 800-1400管径的管道排序分别是玻璃钢管最大, 预应力混凝土管最小, 球墨铸铁管排名第二, PCCP管排名第三。且可以看出玻璃钢管随着不断增加的管径有着越高的模糊综合评价系数, 具有越好的优越性。故在800-1400管径之间的自压管道中应选择玻璃钢管作为输水管材。

以改进后的AHP法对400管径和600管径下的五种管材的模糊权向量进行计算, 可得其模糊评判向量为:

$$DN400: \{B\}=[0.202, 0.183, 0.195, 0.157, 0.250]$$

$$DN600: \{B\}=[0.210, 0.186, 0.203, 0.173, 0.222]$$

在400管径和600管径时, 模糊综合评价系数的排序

分别是PVC-U管排名第一, 球墨铸铁管排名最后, 玻璃钢钢管排名第二, 预应力混凝土管排名第三。且玻璃钢管的模糊综合评价系数随着不断减小的管径也在不断减小, 而PVC-U管则表现出不断增大的趋势, 从表1可知在综合单价中PVC-U管有着较大的优势, 故在160-600管径的范围内应优先选择PVC-U管作为输水管材。

二、管径优化

当管道的路径在工程设计阶段确定下来之后, 为使工程更具经济性和安全性, 尚应对管径进行优化。本文根据当前自压输水管网所存在的问题, 设置节点水量可

靠度为约束条件, 以此建立管径优化模型, 并通过改进的粒子群算法对其进行优选。为使研究分析更具直观性, 本文将某工程为例进行分析。

1. 工程概况

该灌溉工程中的自压滴灌用水共有 $1.86 \times 10^7 \text{m}^3$, 约占据78.25%的引水总量。以该工程中的自压树状官网为研究对象开展仿真分析。其分布情况如下图2所示, 其余详情如下各表。该官网中使用玻璃钢管作为管材, 有着0.6Mpa的耐压等级以及SN5000刚度, 沉砂池有着1227.4m的水面高程, 减压池有着1200m的水面高程。

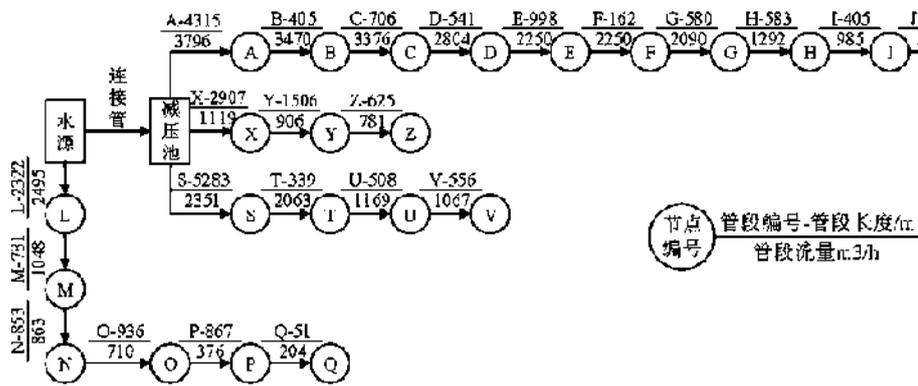


图2 管网布置示意图

表3 节点地面高程及最低服务水头

| 节点序号 | 地面高程/m | 最低服务水头/m | 节点序号 | 地面高程/m | 最低服务水头/m | 节点序号 | 地面高程/m | 最低服务水头/m |
|------|--------|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 沉砂池 | 1218.7 | / | H | 1187 | 29 | Q | 1207 | 23 |
| 减压池 | 1197.7 | / | I | 1183 | 27 | S | 1194 | 20 |
| A | 1196 | 21 | J | 1181 | 24 | T | 1193 | 24 |
| B | 1196 | 33 | K | 1175 | 25 | U | 1193 | 22 |
| C | 1194 | 25 | L | 1219 | 24 | V | 1192 | 24 |
| D | 1193 | 21 | M | 1218 | 19 | X | 1196 | 17 |
| E | 1191 | 25 | N | 1218 | 24 | Y | 1195 | 23 |
| F | 1190 | 26 | O | 1212 | 25 | Z | 1191 | 25 |
| G | 1188 | 28 | P | 1207 | 21 | / | / | / |

从相关规范可知, 干管沿程水头损失可用下式进行表示:

$$h_f = \frac{f \times Q^m \times L}{d^b} \quad (1.1)$$

式中: $f=94700$, 表示摩阻系数; $m=1.76$, 表示流量指数; $b=4.76$, 表示管径指数。以10%的沿程水头损失计算局部的管道水头损失。

2. 控制参数选取

因算法计算过程中涉及到较多的控制参数, 对计算结果精度有着较大影响的则是种群规模以及迭代步数, 因此需先对该参数进行分析以确定最佳值, 对比分析结果如下表4所示。其中在固定小种群的权重时, 宜以0.5作为惯性因子, 以2作为学习因子, 以0.5作为退火常数。

从表中运行结果可知, 种群规模以及迭代步数和目标函数的优化结果关联较小, 而在30种群规模和50迭代步数时, 两种算法的目标函数值均为最优状态, 优化结果最合理。

表4 不同种群规模及迭代步数运行结果对比

| 种群规模及迭代步数 | 30, 30 | 30, 40 | 30, 90 | 50, 30 | 50, 60 | 50, 90 | 90, 30 | 90, 50 | 90, 90 | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 目标函数值 | SAPSO | 756.4 | 716.5 | 760.7 | 747.2 | 743.7 | 739.0 | 767.0 | 732.6 | 776.6 |
| Fv (万元) | PSO | 768.5 | 725.6 | 759.0 | 766.7 | 752.8 | 742.0 | 779.5 | 742.2 | 756.5 |

3. 优化结果分析

表5 优化计算结果

| 序号 | 管长 | SAPSO | | | PSO | | |
|------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 管径/m | | | 管径/m | | |
| | | Ri=0.7 | Ri=0.8 | Ri=0.9 | Ri=0.7 | Ri=0.8 | Ri=0.9 |
| L | 2321 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| M | 780 | 1 | 1 | 0.7 | 1 | 1 | 1 |
| N | 852 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| O | 935 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| P | 866 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| Q | 50 | 0.3 | 0.314 | 0.314 | 0.314 | 0.3 | 0.3 |
| X | 5282 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Y | 338 | 1.1 | 0.7 | 1.1 | 0.7 | 0.7 | 1.1 |
| Z | 507 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| S | 555 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| T | 2906 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| U | 1505 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| V | 624 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| A | 4314 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| B | 404 | 0.7 | 0.7 | 1.1 | 1 | 1.1 | 1.1 |
| C | 705 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| D | 540 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| E | 917 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| F | 161 | 0.314 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| G | 578 | 0.314 | 0.314 | 0.314 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| H | 582 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.314 | 0.314 | 0.314 |
| I | 404 | 0.23 | 0.1 | 0.1 | 0.24 | 0.24 | 0.314 |
| J | 496 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.24 | 0.24 | 0.24 |
| k | 987 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Fv (万元) | / | 712.1 | 728.5 | 742.8 | 731.4 | 751.4 | 768.7 |

从所得结果可知, 目标函数费用随着不断增加的节点水量可靠度也在持续上升, 即在确保节点水量保持较高的可靠度时也需要较高的费用, 在目标函数费用以及节点水量相同时, 比起采用PSO算法所得到的结果, 采用SAPSO算法所得结果均较低, 即采用SAPSO算法能够得到更好的优化结果。并且目标函数差值随着不断增加的Ri值也在不断增加, 有着更加明显的节约资金效果, 因所在管段的造价和节点水量可靠度均由管段直径等级所决定, 据分析可知, 在各分支的一级管段上有着一致的管径, 而二级管段上则有着相差较大的管径, 具体表

现在M、Y、T和B号管径有所不同, 及其后续管径也相应不同。故在供水可靠度以及节约投资的角度进行考虑时, 应以Ri=0.7作为管径。

为避免算法受到随机因素的影响, 对SAPSO算法下Ri=0.7的程序进行100次的独立运行, 对比所得结果与最优解间的偏差, 可得如下表6所示结果。经过多次运算之后, 可知其与最优解的偏差在5%的概率在76%左右, 而在10%以下偏差的概率则有96%左右, 表明SAPSO有着稳定的收敛性, 能够达到较高的计算精度, 满足当前的工程要求。

表6 计算结果与最优解相对偏差

| 最优解/万元 | 相对偏差/% | <1 | <3 | <5 | <8 | <10 | >10 |
|--------|--------|----|----|----|----|-----|-----|
| 712.1 | 出现次数 | 11 | 50 | 76 | 84 | 96 | 2 |

三、结语

从上述分析中, 本文主要得到以下结论:

从经济性以及安全性的角度出发可知, 管材的合理选用对其有着较大的意义, 分析结果显示, 在160-600管径中宜采用PVC-U管, 在800-1400管径中宜采用玻璃钢管。

对比节点水量可靠度不同时的工程费用可知, 在Ri=0.7时比Ri=0.9时的工程费用减小了约30.5万元, 有着更好的优化结果; 分析Ri=0.7时的计算结果和最优解偏差可知, 在10%以下的概率达96%, 即所建立模型较为稳定, 且有着较高的计算精度; 以SPASO算法对模型进行优化求解时有着更为可靠的结果。

参考文献:

- [1]王炜.大中型灌区自压输水系统建设与管理[J].水利规划与设计, 2019(11): 79-82.
- [2]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.
- [3]刘小飞, 王健, 母利.伊犁河南岸灌区自压输水管网试运行存在的问题及对策[J].人民珠江, 2017, 38(11): 103-106.
- [4]党力群.BQ供水工程自压输水管道水锤防护措施浅析[J].陕西水利, 2017(06): 64-65.
- [5]张骛.第五师灌区自压输水管道优化设计研究[D].石河子大学, 2016.
- [6]刘鑫, 李红星.苏巴什河灌区自压输水管网布置方案分析比较[J].陕西水利, 2015(05): 166-167.