

# 长距离泵输水工程管道直径选择探讨

常金梅, 朱满林, 李小周, 王晓敏

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:**长距离泵输水工程管径选择合理与否直接影响工程投资和运行费用。采用费用现值法,考虑工程运行初期和远期输水流量不同、泵站运行方案不同、水泵工作扬程和水泵机组效率不同以及我国实行两部制电价等因素,探讨长距离泵输水工程经济管径的确定问题。以陕西某长距离泵输水管道工程为例,介绍了DN450, DN500, DN600和DN700等4种管径的费用现值计算,以及输水管道经济管径的确定过程,可供类似长距离泵输水工程经济管径选择参考。

**关键词:**泵输水; 经济管径; 费用现值; 水泵机组效率; 两部制电价

中图分类号:TV672+.2; TU991.36

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)02-0152-04

## Selection of pipe diameter for long-distance pumping water conveyance project

CHANG Jinmei, ZHU Manlin, LI Xiaozhou, WANG Xiaomin

(Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Reasonable selection of pipe diameter of long-distance pumping water conveyance project greatly affects the investment and operation costs. Using the costs present value method, taking into account of the different water delivery volumes during the initial and long-term operation periods, the different pump station operation plans, the different the pump work heads and water pump efficiencies, and the two-part electricity prices, the economic pipe diameter for of long-distance pumping water conveyance project was determined. The project in Shanxi was taken as an example, the costs present value calculation diameter determination processes of pipe diameter for 4 types of pipe diameter, i. e., DN450, DN500, DN600 and DN700, and the diameter determination processes of economic pipe diameter were introduced. It can provide references for the selection of economic pipe diameter of similar long-distance pumping water conveyance projects.

**Key words:** pumping water conveyance; economic pipe diameter; cost present value method; pump unit-efficiency; two-part tariff

长距离泵输水工程管线长,管道投资大,对其进行优化设计一直备受关注。在确定了管道布置、施工方式及管材等工程方案后,长距离泵输水工程优化的主要任务是确定输水管道直径。管道直径大,水流速度低,水头损失小,水泵扬程低,年运行电费少,但管道投资就大;管道直径小,水流速度高,水头损失大,水泵扬程高,年运行电费多,但管道投资却小。

长距离泵输水工程管径选择通常采用费用年值法<sup>[1-5]</sup>或费用现值法<sup>[6-9]</sup>,这两种方法原理一致,都是以费用最少为原则得出最优管径。对于年供水量

和运行方案相同的工程,采用费用年值法,计算简便;对于年供水量和运行方案有变化的工程,采用费用现值法,计算相对简单。

本文结合陕西某长距离泵输水实际工程,采用费用现值法,考虑工程运行初期和远期输水流量不同、水泵工作扬程及水泵机组效率不同以及我国实行两部制电价等因素<sup>[10-11]</sup>,探讨长距离泵输水工程经济管径的确定问题。

## 1 费用现值计算方法

费用现值法是确定经济管径的一种动态方法,

费用现值最小对应管径即为最优管径,也称经济管径。费用现值与供水流量、管长、管径、管材、水泵扬程、泵站装机容量、计算年限和折现率等因数有关,其计算公式如下:

$$W = C_p NPV + C_m NPV + C_e NPV \quad (1)$$

式中: $W$ 为费用现值,万元; $C_p NPV$ 为管道综合投资现值之和,万元; $C_m NPV$ 为计算期内年管道维修费用现值之和,万元; $C_e NPV$ 为计算期内年运行电费现值之和,万元。

### 1.1 管道综合投资现值

管道综合投资主要包括管材费用,管道安装运输费,管沟开挖回填费用以及管道内外壁防腐费用等。对于埋地钢管,影响管道综合投资的主要因素是管道壁厚。钢管壁厚与管材、管径、管顶覆土厚度、设计内水压力、回填土与原状土的变形模量及土弧基础设计计算中心角等相关<sup>[12-13]</sup>。为了降低管道综合投资,在保证管道结构稳定的条件下,应根据输水管道沿线设计内水压力,地质条件等,分段采用相应壁厚的压力钢管。若施工期超过 1 年,应按折现率折现后求和,得到管道综合投资现值。

### 1.2 管道年维修费现值

通常管道年维修费取管道综合投资的 1% ~ 2.5%<sup>[14]</sup>,所以各年管道维修费相等,计算年限内管道年维修费现值之和计算公式为:

$$C_m NPV = \sum_{t=1}^n C_m (1+i)^{-t} \quad (2)$$

式中: $C_m$ 为管道年维修费用,万元; $n$ 为计算年限,一般取 20a; $i$ 为折现率,一般取 6% ~ 10%。

### 1.3 年运行电费现值

通常由于用水户的原因,输水工程建成初期达不到设计供水量。供水流量不同,泵站的运行方案就不同,水泵的工作扬程和水泵机组效率也就不同,所以应当根据不同的水泵工作流量、扬程和机组效率分别计算年用电量。

对于报装机容量在 315 kVA 及以上的大工业用电,我国实行两部制电价制度<sup>[11]</sup>。两部制电价制度将用户的电价分为两部分,一部分是电度电价,以用户的用电量作为计费单元征收电度电费;另一部分是基本电价,以用户的最大需量作为计费单位征收基本电费。两部制电价中的电度电价,称为变动电价,直接与用户的用电量挂钩。而基本电价,又称为固定电价,与用户的用电量无关,一定程度上代表了发供电成本中的固定费用部分。基本电费按变压器容量或最大需量计算,用户可根据自己的实际情况

选择。

年运行电费现值的计算公式为:

$$C_e NPV = \frac{1}{10000} \sum_{t=1}^n \frac{\rho g Q_t H_t}{1000 \eta_t (1+i)^t} T_t S_t \quad (3)$$

式中: $t$ 为工程运行年数; $Q_t$ 为工程运行第  $t$  年供水流量,  $m^3/s$ ;  $n$ 为工程运行计算年数,一般取 20a;  $H_t$ 为第  $t$  年运行水泵工作扬程,  $m$ ;  $\eta_t$ 为第  $t$  年运行水泵机组效率,为水泵效率  $\eta_p$ 、传动效率  $\eta_m$  和电动机效率  $\eta_{mo}$  三者之乘积;  $S_t$ 为第  $t$  年综合电价,元/( $kW \cdot h$ );  $T_t$ 为第  $t$  年工程年运行小时数,  $h$ 。

## 2 工程实例

陕西某长距离泵输水工程,采用 2 根埋地钢管输水至高位水池,输水管沿线相对高程布置如图 1 所示。单根管线长 15.32 km,管材选用 Q345B。工程设计供水量为  $4.4 \times 10^4 m^3/d$ ,工程运行初期(前 3 年)供水量分别为设计供水量的 50%、50% 和 75%,第 4 年开始工程达到设计供水量。

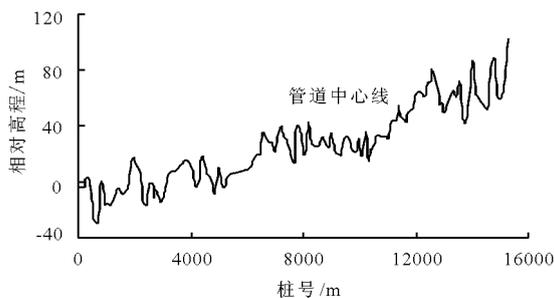


图 1 输水管沿线相对高程布置

### 2.1 管径及水泵选择

管道输水平均流速越大,则水击问题越严重;管道输水平均流速越小,则管道内泥沙越容易沉积。为防止管内泥沙淤积及水击破坏,管道平均流速一般为 0.6 ~ 3.0  $m/s$ ,据此初选管径为 DN450, DN500, DN600 和 DN700。

泵站静扬程和管长一定,管道直径不同,选择的水泵扬程就不同。DN600 和 DN700 管道选择 4 台单级双吸离心泵,运行远期 3 台工作 1 台备用,运行初期 2 台泵工作。DN450 和 DN500 选择 6 台多级离心泵,运行远期 4 台工作 2 台备用,运行初期 3 台泵运行。

水泵机组效率与运行方案有关,不同管径、不同运行方案水泵机组效率计算结果如表 1 所示,其中  $\eta_{p1,p2,p3}$  为运行初期水泵工作效率,  $\eta_p$  为运行远期水泵工作效率。

表1 不同管径水泵机组效率计算结果

效率分项	机组效率/%			
	DN450	DN500	DN600	DN700
$\eta_p$	79.93	79.61	80.76	81.27
$\eta_{p1,p2,p3}$	77.11	78.96	80.71	80.98
$\eta_{mo}$	95.10	95.10	95.10	95.10
$\eta_{in}$	100.00	100.00	100.00	100.00

## 2.2 年运行电费

陕西榆林地区大工业生产用电的电价为0.4693元/(kW·h),基本电价24元/(kW·h·月)<sup>[15]</sup>。年运行电度电费采用以下公式计算:

$$C_e = \frac{\rho g Q_i H_i}{1000 \eta_i} T_i S \quad (4)$$

式中: $C_e$ 为计算年年运行电度电费,元; $S$ 为工程运行期电度电价,元/(kW·h)。

基本电费按变压器容量计算,每月的基本电费为变压器容量与基本电价的乘积。年运行电费为年电度电费与基本电费之和,计算结果如表2示。

表2 不同管径年运行电费计算结果

运行时期	年运行电费/ $10^4$ 元			
	DN450	DN500	DN600	DN700
第1、2年	377.14	284.50	203.94	176.78
第3年	538.50	405.05	291.25	253.60
运行远期	789.45	590.90	417.37	355.04

综合电价为运行电费分摊到每度电的价格,根据年运行电费及耗电量计算的综合电价如表3示。

表3 综合电价计算结果

运行时期	年综合电价/元			
	DN450	DN500	DN600	DN700
第1、2年	0.5485	0.5533	0.5465	0.5396
第3年	0.5221	0.5253	0.5208	0.5162
运行远期	0.5168	0.5200	0.5235	0.5199

## 2.3 管道综合投资

在保证管道结构稳定的条件下,根据输水管道沿线设计内水压力,地质条件等,分段采用相应壁厚的压力钢管,以降低管道工程的投资。管道采用标准壁厚 $\delta$ <sup>[16]</sup>,不同管径分段壁厚的计算结果如表4示,DN600管道不同壁厚的管道长度分段计算结果如图2所示。

工程的建设期为1年,管材及安置费用如下:管材及安装运输费5200元/t,管沟开挖19.46元/ $m^3$ ,机械和人工回填分别为7.74和28.8元/ $m^3$ ,土弧基

础中心角回填126.15元/ $m^3$ ,管壁防腐费70.5元/ $m^2$ 。计算得出不同管径管道综合投资 $C_p$ 如表5示。

表4 不同管径管道壁厚分段计算结果

壁厚 $\delta$ / mm	不同管径的管道长度/m			
	DN450	DN500	DN600	DN700
11	0.00	0.00	0.00	741.00
10	2436.30	1239.20	3104.80	5036.60
8.8	3817.81	4890.90	3106.70	4544.70
8.0	4258.60	4272.91	4180.50	4994.31
7.1	4803.90	4913.60	4924.61	0.00

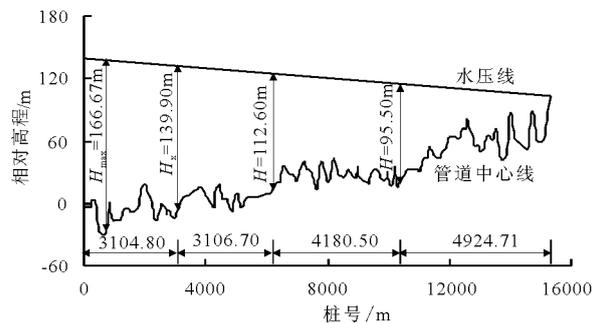


图2 DN600分段结果图

表5 不同管径管道综合投资计算结果

管径/mm	DN450	DN500	DN600	DN700
管道投资 $C_p$ / $10^4$ 元	2010.77	2201.16	2695.27	3370.37

## 2.4 不同管径费用现值

计算年限为20年,折现率取10%,各年费用按年初投入考虑,得出不同管径费用现值如表6所示。

表6 不同管径费用现值  $10^4$ 元

管径	$C_p$ NPV	$C_m$ NPV	$C_e$ NPV	W
DN450	2010.77	171.19	5862.06	8044.02
DN500	2201.16	187.40	4395.11	6783.67
DN600	2695.27	229.46	3123.98	6048.71
DN700	3370.37	286.94	2665.72	6323.03

从表6的计算结果可以看出,DN600钢管的费用现值6048.71万元为最小值,故DN600为本工程优选的管径,即为经济管径。

## 3 结论

采用费用现值法,结合陕西省某长距离泵输水

管道工程,探讨长距离泵输水工程经济管径的确定问题。在计算年运行电费时,考虑到工程运行初期和远期输水流量不同、水泵工作扬程及机组效率不同以及我国实行两部制电价等因素,分别计算不同年份的年运行电度电费与基本电费,使计算的年耗电费更符合工程实际。

### 参考文献:

- [1] 蒋玖璐. 长距离输水管道经济管径的确定[J]. 中国给水排水, 2010, 26(12):77-79.
- [2] 杜晓云. 长距离引水管线工程经济管径研究[J]. 山西水利, 2014, 40(4):28-29.
- [3] 徐飞飞, 闫卿, 王碧波. 不同规模分期建设的输水管道经济管径计算探讨[J]. 给水排水, 2014, 40(10):108-110.
- [4] 王明安, 张世功, 段伟华, 等. 长距离输水管道设计中几个问题的探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2006, 34(2):92-93.
- [5] 李克宪. 长距离输水工程的设计[J]. 甘肃科技, 2008, 24(11):138-139+174.
- [6] 肖璐, 赵廷红, 张春, 等. 用年费用最小法计算管路经济管径[J]. 水电能源科学, 2011, 29(8):118-120.
- [7] 何远通. 长距离输水工程的有关问题探讨[J]. 浙江水

利科技, 2008(3):29-30.

- [8] 陈涌城, 张洪岩. 长距离输水工程有关技术问题的探讨[J]. 给水排水, 2002, 28(2):1-4.
- [9] 李伟帅. 长距离输水工程有关技术问题的探讨[J]. 内蒙古水利, 2011(1):103-104.
- [10] 陈庆. 两部制电价中约定最大需量的选择[J]. 电力需求侧管理, 2012, 14(4):53-54.
- [11] 张磊. 完善我国两部制电价的策略研究[J]. 中国电力教育, 2013(8):162-163+183.
- [12] 北京市市政工程设计研究总院. GB 50332-2002 给水排水工程管道结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.
- [13] 北京市市政工程设计研究总院. CECS 141:2002 给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.
- [14] 水利部水利水电规划设计总院. SL 72-2013 水利建设项目经济评价规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2014.
- [15] 陕价商发[2016]3号. 关于调整榆林电网电力价格的通知[ZB/OL]. [2016-01-14]. [http://www.snprice.gov.cn/admin/pub\\_newsshow.asp?id=1013745DdDdchid=100036](http://www.snprice.gov.cn/admin/pub_newsshow.asp?id=1013745DdDdchid=100036).
- [16] 中国钢铁工业协会. GB/T 21835-2008 焊接钢管尺寸及单位长度重量[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.

(上接第151页)

### 参考文献:

- [1] 周秋景, 李同春. 混凝土拱坝坝肩的安全评价问题综述[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(3):81-85.
- [2] 丁陆军. 国内外拱坝体型优化研究现状及发展[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(3):61-65.
- [3] 魏鹏, 叶林, 李林峰, 等. 地震作用下的电梯井结构与拱坝坝体的耦联分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(6):134-136.
- [4] 李瓚, 陈兴华. 混凝土拱坝设计[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.
- [5] 中华人民共和国国家能源局. DL/T 5057-2009 水工混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国电力出版社, 2009.
- [6] 王仁坤. 溪洛渡拱坝设计综述[J]. 水力发电, 2003, 29(11):17-19.
- [7] 上海勘测设计研究院, 长江水利委员会长江规划勘测设计院. SL282-2003 混凝土拱坝设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2003.
- [8] 郭喜峰, 晏鄂川, 吴相超, 等. 某坝基岩体质量分级与力

学参数试验研究[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(11):47-50.

- [9] 周维垣, 杨强. 岩石力学数值计算方法[M]. 北京:中国电力出版社, 2005.
- [10] 何柱, 刘耀儒, 杨强, 等. 基于位移反分析的小湾拱坝稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 32(11):2242-2249.
- [11] 郝文化, 叶玉明. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京:水利水电出版社, 2005.
- [12] 李权. ANSYS 在土木工程中的应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005.
- [13] 王锋, 苏志敏, 蒋承杰, 等. 基于 ANSYS 的拱坝建模及网格划分[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3):157-160.
- [14] 邹超英, 苏志敏, 曾海军, 等. 拱坝有限元分析网格剖分方案研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(1):47-49.
- [15] 关涛, 钟登华, 任炳昱. 基于随机占优度的高拱坝施工方案优化研究[J]. 水力发电学报, 2016, 35(5):23-30.