

长距离浆体输送管道线路和输送运行 方式选择优化设计

丁宏达

(长沙冶金设计研究院)

摘要 文中讨论了长距离浆体输送管道线路选择和输送运行方式选择的优化设计方法,并给出了计算分析实例。优化后的管道系统,其基建费用和营运费用的现值最小。

关键词 浆体输送管道 线路 运行方式 优化

1 概述

作为一种输送大宗粒状材料的运输方式,长距离浆体管道工程的投资和运营费用都是十分可观的。因此,对其进行系统的优化,选择合理的管道线路和工艺运行方式,乃是提高工程经济效益和社会效益的重要措施。

浆体管道输送系统工程优化的主要内容包括了对管道线路的优选,工艺作业运行方式的优选和管线与泵站设置数量及位置的优选等三个方面。根据其优化分析设计的数量化程度和计算条件,可分为三种不同层次的分析研究,采用先宏观后微观的方法进行优化。

首先是管道线路的选择。这主要是从总体上和宏观上来确定可供进一步比较优化的线路,也是为第二层次和第三层次进行运行方式和管线泵站的优化提供依据。

第二层次的优化分析主要是针对浆体管道作业运行的不同方式——是连续输送还是批量输送,通过初步计算作出决策。如选择批量输送方式时,确定多大的批量是最优的批量。在决定了这一层次的问题后方能在此基础上配置不同的管道和泵站等设施并对其进

行优化设计。

第三层次的优化是对输送工艺系统及其设施的优化。主要是通过计算,分析比较出最优的系统和设施配置。

文中仅对第一和第二两个层次的问题进行了优化分析和讨论,第三层次的优化另文发表。

2 浆体输送管道线路的优化选择

由于长距离浆体输送管道一般都需穿越多种地形,途经不同的地域,且管道长,工程量巨大。因此,最经济合理选择线路是整个工程优化设计的重点,同时也是工艺方案优化设计的前提和基础。

根据《浆体长距离管道输送工程设计规程》^[1]中对线路选择的原则规定,绝大多数是非定量的要求。因此,应在尽可能实地勘测和列出定量条件的基础,结合宏观的定性的评价,来判定线路的优劣,进行相对的比较,确定优化的线路方案。

一般情况下,应初选出2~4条可行的线路进行比较,并以列表(表1)的方式来审视和评定,通过综合分析,得出综合评价意见,最终选定最多两条较优的线路,作为下一步第二层次对工艺运行作业方式优化设计的依

据。通过反馈, 结合不同线路经济指标的比较, 最后确定终选优化线路方案。

值得说明的是, 线路方案应该是各种不同管段的组合, 不一定每一方案都无重复管

段。

表 1 中“√”处为填写的沿线情况, 应尽可能具体化和数量化。必要时应按里程分段描述。

表 1 管道线路方案优化比较

| 序号 | 比较项目 | 方案 1 | 方案 2 | 方案 3 | 方案 4 |
|----|-------------------------------|------|------|------|------|
| 1 | 管线长度(km) | √ | √ | √ | √ |
| 2 | 管线平直情况(附管线平面图) | √ | √ | √ | √ |
| 3 | 管线起伏情况(附管线剖面图) | √ | √ | √ | √ |
| 4 | 线路工程地质情况(分段描述) | √ | √ | √ | √ |
| 5 | 沿线交通情况 | √ | √ | √ | √ |
| 6 | 沿线供电情况 | √ | √ | √ | √ |
| 7 | 沿线供水情况 | √ | √ | √ | √ |
| 8 | 沿线施工条件 | √ | √ | √ | √ |
| 9 | 沿线文物及动植物保护和环境敏感区情况 | √ | √ | √ | √ |
| 10 | 线路穿越城镇、工业区和农田情况 | √ | √ | √ | √ |
| 11 | 线路穿越和平行铁路、公路及河流等情况(列出穿越设施和数量) | √ | √ | √ | √ |
| 12 | 综合评价意见 | √ | √ | √ | √ |

3 浆体管道输送工艺运行方式的优化选择

3.1 运行方式的几种方案

在一般情况下, 管道输送固体物料的年输送量是由该管道所服务的主体工程所决定的, 但在日输送量或时输送量上, 管道输送系统可以通过储浆调节设施进行适当的调节, 不一定和所服务的主体工程的日或时输送量相一致。即既可与其同步进行均匀连续输送, 也可不与其同步而采取大于主体工程输送量的间断式批量输送。

对于连续输送的运行方式, 其优点是输送浆体的流量较小, 可以选用较小的管径; 所用来作为物料载体的水量及停运后冲洗管道的水量较少; 所需配备的主泵流量和储浆调节设施的容量也较小等。但其缺点是小管径管道摩阻损失较大, 系统总压头较高; 从而使泵站的数量加多或需采用更高压头的主泵设施, 能耗加大; 同时管道承压加大, 管壁厚度要增加, 加大了管材的用量等。

对于批量输送的运行方式, 其优缺点正好与前者相反。对于一项具体工程, 孰优孰

劣, 需经方案比较和经济技术分析, 择优选用。对于采用批量输送方式时, 也还存在选择用多大的批量, 采用多大管径的问题, 也需经过不同方案的优化分析后再行选定。

对于某一管道线路, 一般以连续输送方式作为第一方案, 根据其流量选择一个满足(略大于)临界流速的管径, 然后进行其地形高差和摩阻损失的计算, 得出总压头并配备泵站设施, 以此计算系统总基建投资费用和年运营费用, 并在一定的服务年限下和利率下, 进行系统的现值计算。

然后进行几种大于第一方案管径和相应流量的批量间断输送系统方案的上述计算, 分别得出各方案的系统现值。

在获得各方案现值后, 就可经过比较, 得出此一线路下的现值最小的优选方案。

对于第一层次初步优化后所得的几条(一般不多于 2 条)不同管道线路, 依照上述内容进行计算比较, 最终选出现值最小的作为最优方案。

3.2 方案优化比较

为了清晰地表达方案优化过程, 工程设计时多采用填表方式(表 2)进行比较。

表 2 第 X 号方案线路的管道输送运行方式比较

| 序号 | 计 算 参 数 | 方案 1 | 方案 2 | 方案 3 | 方案 4 |
|----|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 管道长度 L (m) | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 |
| 2 | 浆体密度 ρ_m (t/m ³) | ρ_{m1} | ρ_{m2} | ρ_{m3} | ρ_{m4} |
| 3 | 运行流速 V (m/s) | V_1 | V_2 | V_3 | V_4 |
| 4 | 管道内径 D (m) | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 |
| 5 | 输送流量 Q (m ³ /s) | Q_1 | Q_2 | Q_3 | Q_4 |
| 6 | 日运行小时数 T (h/d) | T_1 | T_2 | T_3 | T_4 |
| 7 | 输送管道终点起点标高差 ΔH (m) | ΔH_1 | ΔH_2 | ΔH_3 | ΔH_4 |
| 8 | 管道摩阻损失坡降 i (m/m) | i_1 | i_2 | i_3 | i_4 |
| 9 | 管道摩阻损失 $h = iL$ (m) | iL_1 | iL_2 | iL_3 | iL_4 |
| 10 | 总压头 $H = h + \Delta H \rho_m$ (m) | $h_1 + \Delta H_1 \rho_{m1}$ | $h_2 + \Delta H_2 \rho_{m2}$ | $h_3 + \Delta H_3 \rho_{m3}$ | $h_4 + \Delta H_4 \rho_{m4}$ |
| 11 | 管道平均单价 U_L (元/m) | U_{L1} | U_{L2} | U_{L3} | U_{L4} |
| 12 | 管道总价 $C_L = U_L \cdot L$ (元) | $U_{L1} \cdot L_1$ | $U_{L2} \cdot L_2$ | $U_{L3} \cdot L_3$ | $U_{L4} \cdot L_4$ |
| 13 | 泵站数 n (座) | n_1 | n_2 | n_3 | n_4 |
| 14 | 泵站单价 U_P (元/座) | U_{P1} | U_{P2} | U_{P3} | U_{P4} |
| 15 | 泵站总价 $C_P = n \cdot U_P$ (元) | $n_1 U_{P1}$ | $n_2 U_{P2}$ | $n_3 U_{P3}$ | $n_4 U_{P4}$ |
| 16 | 其它设施费用附加系数 K_0 | K_0 | K_0 | K_0 | K_0 |
| 17 | 基建投资总费用 $C = (1 + K_0) \cdot (C_L + C_P)$ (元) | $(1 + K_0)(C_{L1} + C_{P1})$ | $(1 + K_0)(C_{L2} + C_{P2})$ | $(1 + K_0)(C_{L3} + C_{P3})$ | $(1 + K_0)(C_{L4} + C_{P4})$ |
| 18 | 主泵年耗电量 N_P (kW · h/a) | N_{P1} | N_{P2} | N_{P3} | N_{P4} |
| 19 | 其它设施年耗电量 N_0 (kW · h/a) | N_{01} | N_{02} | N_{03} | N_{04} |
| 20 | 单位电价 E (元/kW · h) | E | E | E | E |
| 21 | 年总电费 O_e (元/a) | $E(N_{P1} + N_{01})$ | $E(N_{P2} + N_{02})$ | $E(N_{P3} + N_{03})$ | $E(N_{P4} + N_{04})$ |
| 22 | 其它消耗及人工等费用系数 K_1 | K_1 | K_1 | K_1 | K_1 |
| 23 | 年总运营费 O_y (元) | $(1 + K_1) \cdot O_{e1}$ | $(1 + K_1) \cdot O_{e2}$ | $(1 + K_1) \cdot O_{e3}$ | $(1 + K_1) \cdot O_{e4}$ |
| 24 | 年利率 S (%) | S | S | S | S |
| 25 | 管道服务年限 R (年) | R | R | R | R |
| 26 | 现值系数 B | B | B | B | B |
| 27 | 总运营费现值 $O_y B$ | $O_{y1} B$ | $O_{y2} B$ | $O_{y3} B$ | $O_{y4} B$ |
| 28 | 总现值 C_T (元) | $C_1 + O_{y1} B$ | $C_2 + O_{y2} B$ | $C_3 + O_{y3} B$ | $C_4 + O_{y4} B$ |

3.3 几个参数的计算说明

(1) 表 2 中泵站数 n , 对于地形平坦或上升下降坡度较缓的情况为:

$$n = H / H_P$$

式中 n —— 泵站数, 取整数 (参见附图 a);

H —— 总压头 (m);

H_P —— 主泵最大允许压头。一般对柱塞泵、活塞泵不大于 1500 m, 对隔膜泵不大于 2000 m。

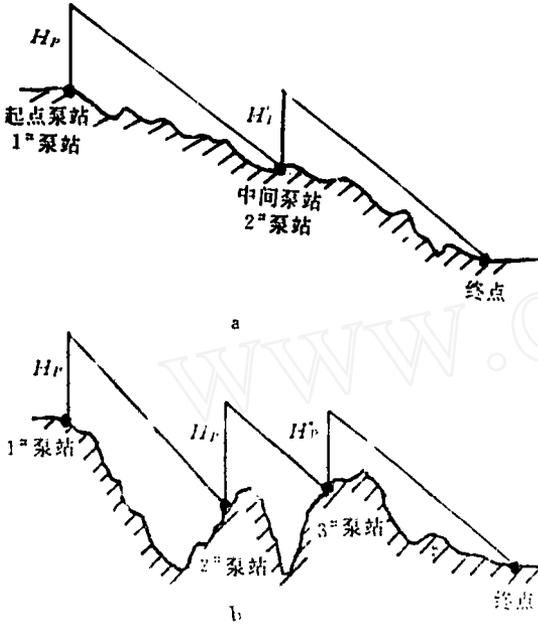
对于地形起伏变化很大的情况, 则应根

据地形起伏翻越点情况配置 (参见附图 b)。 n 值一般比计算所得的 n 大。选用的主泵类型及性能应尽可能一致, 以免维修和配件太复杂。

(2) 管道平均单价包括了管道材料、运输、安装、征地及其它杂项费用; 泵站单价包括了站内主泵设备与安装费用、征地费用和其它内部供电、供水、自动控制、土建等杂项费用。

(3) 其它设施费用附加系数, 为前后处理

设施及沿线外部供电、供水、自控通讯和穿或跨越设施土建等其它费用与管线和泵站基建费用之比值。



附图 不同地形泵站配置示意

(4) 主泵年耗电量为泵主工作容量与年运行时间的乘积。即:

$$N_p = N_y \cdot t_y = \frac{K Q H t_y}{\eta \eta_e}$$

式中 N_p ——主泵年耗电量(kW · h/a);

N_y ——主泵工作容量,各泵站不计备用泵的主泵工作容量之和(kW · h);

t_y ——主泵年运行小时数(h/a);

K ——单位转换系数;

Q ——主泵流量(L/S);

H ——主泵总压头(m);

η ——电机效率,初步计算时取 $\eta = 1.0$;

η_e ——主泵效率,初步计算时取 $\eta_e = 0.75$ 。

(5) 其它设施年耗电量包括前后处理设施及中间泵站中的用电设施的年总耗电量。

(6) 其它消耗及人工等费用系数为除电

费以外的其它运行费用对电费之比值。

(7) 现值系数 B 在服务年限为 R 、利率为 S 时的折算系数计算式为:

$$B = \frac{(1+S)^R - 1}{S(1+S)^R}$$

4 实例优化分析

马边磷矿管道输送精矿浆工程起于四川马边,止于四川宜宾,年输送量为 44.6 万 t,精矿密度 $\rho_s = 2.94 \text{ t/m}^3$,中值粒径 $d_{50} = 0.042 \text{ mm}$,矿浆重量浓度 $C_w = 57 \pm 2\%$,管道服务年限 $R = 20$ 年,年利率 $S = 7.2\%$ 。

管道输送工艺流程中包括:

(1) 前处理设施:安全筛、精矿浓缩机、底流泵站、矿浆储槽、喂料泵、试验环管、防腐蚀药剂站和事故池等。

(2) 主线泵站:小型矿浆储槽、喂料泵、事故池、主泵及调速装置和清管器发送与接收装置等。

(3) 后处理设施:矿浆储槽、脱水站渣浆泵、水处理浓缩池及中和池和精矿脱水站等。

4.1 管道线路的优选

根据地形图和现场踏勘,初选出三条可行线路进行优化比较分析。

a、中线方案:从马边磷矿(地形标高 1000 m)、经狮子头(地形标高 600 m)越过马边河至花椒坪(地形标高 1050 m)、新市镇(地形标高 450 m)、屏山(地形标高 410 m),从现有大桥穿过金沙江后经宜宾县到达终点盐坪坝化工厂(地形标高 280 m)。全程长 168 km,两座泵站。

b、南线方案:从马边磷矿至新市镇线路与中线方案相同,然后穿过金沙江(新建管桥),从四川进入云南,经绥江县、水富县至宜宾县。从宜宾县到化工厂线路与中线方案相同。全程长 171 km,两座泵站。

c、北线方案:从马边磷矿至屏山县的线路与中线方案相同,然后爬越原有公路的分水岭(地形标高 1040 m)。从现有大桥穿过金

沙江后经宜宾县到达化工厂的线路与中线相同。全程长 173 km, 三座泵站。

中线方案管线长度最短, 地形起伏不大, 基本为下坡, 标高顺差约 700 m, 配置泵站较少, 可利用原有大桥穿过金沙江, 线路全部在宜宾的地区内, 便于征地和施工与生产管理。但沿线要新建一定长度的施工和检修道路, 其中若干地段工程地质较差, 需加处理。

南线方案管线长度稍长, 地形起伏不大, 基本为下坡, 标高顺差也约为 700 m, 配置泵站较少。但要新建较大跨度的管桥穿越金沙江, 管线约有 3/5 在云南省境内, 地跨两省, 征地和施工与生产管理条件较中线为差, 沿线要建较长的施工和检修道路。

北线方案管线长度最长, 地形有较大起伏, 第二个分水岭标高较高, 需比前两方案多配置一座泵站。其它情况与中线方案相同, 但所需新建的施工和检修道路最少, 经过农田较多, 工程地质条件较中线方案稍好。

综合分析比较上述方案, 选择中线为优选方案。

4.2 运行方式的优化选择

(1) 连续运行方式

根据年运量换算成日和时运量为 1457.5 t/d 和 60.75 t/h, 连续输送时 $Q = 66.47 \text{ m}^3/\text{h}$ 。在工作流速 $V = 1.64 \text{ m/s}$ 时, 管内径为 $D_{\text{内}} = 119.7 \text{ mm}$, 选用 $D_L = 139.7 \times 10$ 的钢管, 此时摩阻损失坡降 $i = 3.38 \text{ m}/100\text{m}$, 计算得主泵总压头 $H = 47.6 \text{ MPa}$, 再按照地形配置三座泵站, 每一泵站的主泵为一台工作一台备用。管道内压力 $P_{\text{max}} = 16 \text{ MPa}$ 。

(2) 批量运行方式

可选用管径 D_p 使之大于 D_L , 在保持工作流速不变时, 即为批量输送。经对 $D_p = 146 \times 10, D_p = 168.3 \times 11$ 和 $D_p = 194 \times 11$ 等方案进行分析计算, 其中当 $D_p = 194 \times 11$ 管径时, 系统总费用最小。

相应 $D_p = 194 \times 11$, 仍选用工作流速

$V = 1.64 \text{ m/s}$, 保持 $C_w = 57 \pm 2\%$ 时, 小时输送量为 126 t/h, 比连续输送时大一倍, 保持日输送量 1457.5 t/d 不变, 则每天只需工作约 12h, 另 12h 停运。此时 $Q = 137.9 \text{ m}^3/\text{h}$, 相应管道摩阻损失坡降为 $2.21 \text{ m}/100\text{m}$, 只需配置两座泵站, 每座泵站中的主泵也为一台工作一台备用, 管道内压力 $P_{\text{max}} < 16 \text{ MPa}$ 。

经计算, 对此种管径下的批量输送系统的费用为: 工程基建投资为 37330 万元, 单位基建投资为 837 元/t·a 和 222.3 万元/km; 运输成本为 1311 万元/a, 单位运输成本为 0.175 元/t·km。

此方案的费用现值为 49273 万元, 比其它管径下的批量输送和连续输送方案都小, 故为优选后的运行方式。

参考文献

- [1] 丁宏达等. 浆体长距离管道输送工程设计规程. 北京: 中国工程建设标准化协会出版社, 1998
- [2] 钱桂华等. 浆体管道输送设备实用选型手册. 北京: 冶金工业出版社, 1995
- [3] 丁宏达等. 浆体管道输送原理和工程系统设计. 长沙: 中国金属学会浆体输送学术委员会, 1990
- [4] 郑庶瞻等. 四川马边磷矿外部运输工程可行性研究报告. 长沙: 长沙冶金设计研究院, 1999

作者简介:

丁宏达, 男, 1937 年生, 教授级高级工程师, 1960 年毕业于清华大学, 现任中国金属学会选矿学会尾矿与浆体管道学术委员会主任, 《管道运输》、《水力采煤与管道运输》等刊编委会副主任。曾获国家科技进步奖三项, 优秀设计奖二项, 在国内外会议和刊物上发表论文 130 余篇, 出版专著三部, 通讯地址: 湖南省长沙市劳动东路 33 号长沙冶金设计研究院, 邮编: 410007。

(收稿日期: 1999—05—28)

水力采煤与管道运输

ENGLISH ABSTRACTS

Making Further Progress in Readjustment of Economic Structure Is an Important Approach for the Enterprise to Extricate from Its Economic Predicament—Yu Zizhong

When operating with a socialist market mechanism, Lujiatuo Coal Mine, Kailuan Mining Administration, is confronting some problems relating to the following six aspects: seam output ratio, balance between extraction and driveage, and product, marketing, organizational and industrial structures. The paper elaborates on the approaches adopted to solve these problems.

A Preliminary Study of the Current Status and Developing Orientation of Lujiatuo Mine's Hydraulic Coal Mining Operation—Chen Peihua

The paper presents an introduction to the present status of the mine's hydromechanical mining operation, the factors affecting the mining operation, the measures that should be accordingly adopted and the problems requiring solution in the future development of this mining operation.

Break-even Analysis for Lujiatuo Coal Mine—Li Wei

In prime of life, Lujiatuo mine should be a profit-making mine. However the mine has been operating in red for years running. Analysis is made in the paper of the cause of loss incurred, the profit-making possibility, the break-even point output, and the key approach that should be taken to reverse loss and increase net income.

Several Problems Demanding Immediate Solution in the Near-term Production Development of Lujiatuo Mine—Meng Fanchun

Proceeding from the status quo of the mine, the author makes a general analysis of the mine's passive position and points out the problems calling for tackling during the transition period from a pure hydromine to a combined hydraulic and conventional

mine.

Selection of Optimum Design of Long-Distance Slurry Pipeline Transportation Routes and Transportation Modes—Ding Hongda

An introduction is made to the method for optimum design selection and typical cases are cited by way of example to show the calculation and analysis result. The results indicate that the pipeline transportation system is minimal in capital construction and operating costs.

A Preliminary Note on Approaches to Raise the Extraction Rate of Lujiatuo Hydromine—Huang Xu

On the basis of the mine's current status of mining operation, the author makes an analysis of the factors affecting the increase of extraction rate and the approaches for enhancing the extraction rate of hydromines on a general basis.

Application of Roof-Bolt in Hydromines—Ren Pingli

In line with the practical conditions of seam occurrence at Lujiatuo Mine, Kailuan Mining Administration, a summary is presented on the results of application of bolting headings in mining moderate-thick seams, together with an evaluation of the role and merits of this support method, as well as the economic benefit of bolting in hydromines.

An Investigation into the Non-supported Mining System Applied in Hydromining Unstable Medium-Thick Coal Seam—Song Guangwu et al

Following an analysis of the main problems encountered in mining unstable medium-thick seam with non-supported mining system, the author proposes a supported mining system, together with an analysis of the adaptable conditions and feasibility of this mining method. Finally the paper points out the problems of the mining method requiring to be solved through further study.

(英文翻译 李清华)