

# 洱源县二水厂长距离重力流输水管线工程设计

李 丽<sup>1</sup>, 张先斌<sup>2</sup>, 金政华<sup>3</sup>, 徐国林<sup>1</sup>, 刘德稳<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 土木工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南华博工程设计有限公司, 云南 昆明 650200; 3. 九江市城市规划市政设计院, 江西 九江 332000)

**摘 要:** 云南省洱源县第二自来水厂设计供水规模为  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 水源为三岔河水库, 水源位置高、距离远, 因可利用高差大, 原水输水管属于长距离重力有压流输水管道。工程选用大小管径搭配使用, 以便充分利用输水水头; 为了降低输水管道静压, 管线沿途设置一座减压水池, 既能保障管道输水安全, 又能节省工程建设及运营投资。选用耐腐蚀、水力条件较好的球墨铸铁管材, 满足输水能力要求, 并对管道水锤计算和安全防护措施等进行了系统设计, 为山区城镇长距离输水管道工程设计提供了参考。

**关键词:** 原水输水管; 长距离; 重力有压流输水

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)24-0051-05

## Design of Long Distance Gravity Flow Pipeline for Eryuan County Second Waterworks

LI Li<sup>1</sup>, ZHANG Xian-bin<sup>2</sup>, JIN Zheng-hua<sup>3</sup>, XU Guo-lin<sup>1</sup>, LIU De-wen<sup>1</sup>

(1. Civil Engineering College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Yunnan Huabo Engineering Design Co. Ltd., Kunming 650200, China; 3. Jiujiang Urban Planning & Design Institute, Jiujiang 332000, China)

**Abstract:** The Eryuan County Second Waterworks in Yunnan Province has a designed water supply capacity of  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Its water source is Sanchahe Reservoir, with characteristics of high location and long distance. The raw water delivery pipeline is a long-distance gravity pressurized because of the big height difference available. Both the large and small diameter pipes were selected to make full use of the water supply head; and a pressure relief tank along the pipeline was set up to reduce the static pressure of pipeline water supply. As a result, the pressure relief tank could ensure the safety of pipeline water delivery and reduction of the project construction and operation investment. The ductile iron pipe with advantages of corrosion resistance and good hydraulic conditions was used to meet the requirements of water delivery capacity. And then, the pipeline water hammer calculation and safety protection measures were investigated and designed. The design method in this paper can provide valuable reference for the design of long-distance water pipelines in mountain area.

**Key words:** raw water delivery pipeline; long distance; gravity pressurized flow

### 1 工程概况

云南高原明珠大理洱海的发源地洱源县, 地处云贵高原与横断山脉结合部位, 是大理、丽江和迪庆

云南三大高原风景区的枢纽地带, 境内旅游景点众多, 气候宜人, 是大理旅游景区的主要部分。近些年来, 洱源在大理旅游业带动下, 国民经济生产总值不

断提高,县城建成区面积逐步扩张,居民生活生产用水需求持续增长,已建城市供水基础设施不能满足用水增长需求,严重影响了当地社会经济发展和人民生活质量,实施洱源县第二自来水厂供水工程十分必要。

洱源县二水厂近期设计规模为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 远期规模为  $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。水源地为三岔河水库,新建原水输水管按远期设计供水规模一次性建成,同时考虑输水管线漏损及水厂自用水量系数为 1.10,设计总长度为 20.06 km。

## 2 原水输水管线设计

### 2.1 输水管走向

输水管线从三岔河水库取水口起,敷设至孤老山脚下后沿 G214 国道敷设至新建二水厂位置,输水管总长为 20.06 km。可实现全重力输水,无动力提升。

三岔河水库正常蓄水位为 2 451.77 m,死水位为 2 420.50 m,水库已建取水口高程为 2 375.00 m,从水库取水口至孤老山脚输水管段(终点水压标高为 2 273.00 m)高差较大,高程相差约 102 m,新建水厂地面高程为 2 143.00 ~ 2 155.00 m,为降低输水管道承压,又能使输水管能重力自流至新建水厂,

在取水口至孤老山脚输水管段上设置 1 座减压水池,减压水池进水标高为 2 273.00 m,出水标高为 2 271.00 m;从孤老山脚至新建二水厂输水管段基本沿 G214 国道布置,G214 国道高差不大,管道承压合理,供水安全性好,管线长度短,且公路两边有埋管的条件,施工方便。部分管道地势较低,管道承压较高,输水管线设计中控制静压值不超过 2.0 MPa。

### 2.2 管径确定

为方便计算,沿程水头损失按局部水头损失的 10% 考虑。采用分段计算的形式:

① 自三岔河水库取水点至桩号 K1 + 134 (孤老山脚):长为 1 134 m,输水管为 DN400 球墨铸铁管,起点的出水标高为 2 375.00 m,该段末端的标高为 2 273.00 m。流量为 254.63 L/s,流速为 2.03 m/s,  $1\ 000i = 14.46 \text{ m}$ ,该段输水管总水头损失为 18.04 m ( $1 \text{ m} \approx 9.8 \text{ kPa}$ )。

② 自桩号 K1 + 134 至桩号 K20 + 060:长为 18 926 m,输水管为 DN500 球墨铸铁管,起点的出水标高为 2 271.00 m,该段末端的标高为 2 154.90 m。流量为 254.63 L/s,流速为 1.30 m/s,  $1\ 000i = 4.43 \text{ m}$ ,该段输水管总水头损失为 92.23 m。

原水输水管水力计算结果见表 1。

表 1 原水输水管水力计算结果

Tab. 1 Hydraulic calculation results of raw water delivery pipeline

起终点桩号	长度/ m	管径/ mm	管材	$1\ 000i$ / m	流量/ ( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ )	流速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	水头 损失/m	终点标高/m
0 + 00 ~ 1 + 134	1 134	400	球墨铸铁管	14.46	254.63	2.03	18.04	2 273.00
1 + 134 ~ 20 + 060	18 926	500	球墨铸铁管	4.43	254.63	1.30	92.23	2 154.90

由于输水管道前段坡度较大,为充分利用水头损失,可采用小管径进行输水;管道后段地形较为平缓,为保证输水能力及管道流速,应采用较大一号管径,保证输水安全。

设计原水输水管新建 1 座减压水池,建在桩号 K1 + 134 处。原水管分段确定输水管管径,大管径与小管径结合使用,既可以充分利用水头,又能够降低工程投资,确定选用 DN400 的球墨铸铁管 1 134 m 和 DN500 的球墨铸铁管 18 926 m,以满足重力输水。

原水输水管沿线工程地质条件较好,管道静压均控制在 2.0 MPa 内,原水输水管水力坡降图见图 1。

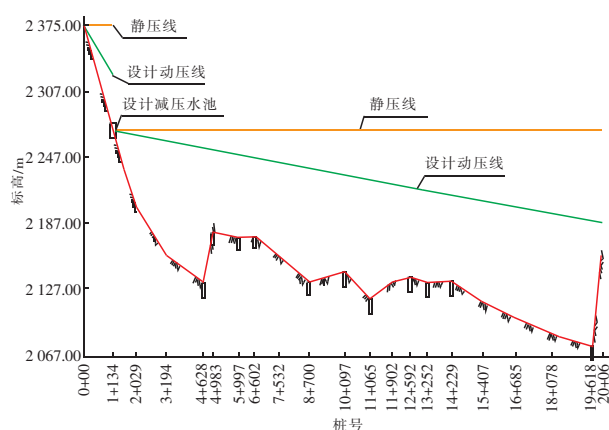


图 1 原水输水管线水力坡降图

Fig. 1 Hydraulic gradient of raw water delivery pipeline

### 2.3 管材选择

输水安全的关键因素之一是管道的材质,长距离重力流输水管道须达到以下要求:①满足《生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准》(GB/T 17219—1998)的规定;②所选管材须有足够的强度,能承受管道各种工况下内外产生的荷载;③须具备足够的水密性,满足管道密闭性和漏损实验要求;④管道内壁不易结垢,光滑,水力条件好,减小水头损失;⑤管道连接简单方便,接口可靠;⑥管道防腐符合设计要求,使用期限久,投资合理。

洱源县二水厂输水管道长度为 20.06 km,属长距离输水,管道大部分沿山间小道埋设,地形起伏多变,部分管道承压较高,且管道输水量较大,对管道运行安全以及投资合理等因素综合权衡,设计采用球墨铸铁管,在特殊路段如穿越河道和公路等采用钢管套,确保管道输水安全。

球墨铸铁管管径在 DN400 以上其综合投资相比其他管材要低,质轻易搬运,采用承插柔性接口满足抗震要求,能适应各种地形变化,不易发生爆管、漏损等情况,降低管道运行维护管理费用。连接利用标准配件,减少垫层基础,施工便利,劳动强度小。

### 2.4 管道附属设施

#### ① 检修阀设置

根据《室外给水设计规范》(GB 50013—2006)第 7.4.5 条规定,输水管始点、终点、分叉点以及穿越河道、铁路、公路段,应根据工程的具体情况和有关部门的规定设置阀(闸)门<sup>[1]</sup>。根据洱源二水厂长距离输水的特征,在管道取水点和管道末端以及部分特殊地段设置检修阀门,管道直线段上每隔 2.0 km 设置一座检修阀门,并应靠近交通便利、便于管理的地方,方便对管道进行分段检修,确保长距离输水的安全。

#### ② 排泥阀设置

在管坡底设置排泥阀,以定期排除管道中的沉淀物,提高供水质量;并在出现供水事故时,排空管道便于抢修。排泥阀安装于阀门井内。本工程根据管线沿线地形变化情况,在管道最低点处设计排泥阀,共计 20 个。

#### ③ 排气阀设置

排气阀应设置于管道凸起点以及跨越河道拱形管道上端,平直路管段宜每间隔约 1.0 km 安装一个排气阀,采用自动排气阀,同时具备进气性能。排气

阀共设置 20 个,进一步提高输水整体安全性。

### 3 安全措施防护

#### 3.1 减压水池设置

从管线输水管道高差来看,设计取水口与二水厂配水井进水水面标高压差为 2.2 MPa,局部静压已接近 3.0 MPa。该管道输水静压偏高,对管道承压能力提出较高标准的要求。结合管线沿线地质情况,设计采用分段输水,降低管道内静压,保证管道输水安全。

减压水池设置位置应最大程度地利用剩余水头,且地质条件稳定,无滑坡、岩溶、土洞、塌陷、泥石流、采空等不良地质现象及灾害地质现象存在,并能方便施工、运营管理。

综合以上因素,确定在桩号 K1+134 处设置容积为 200 m<sup>3</sup> 的减压水池。由于本工程水源位置较高,进入减压水池水压较大,因此,在设计减压水池时,将进水管伸进池内并向下弯曲至池底 1 m 处,池底设置 600 mm × 600 mm 的 Q235-B 固定钢板一块,以防止水压过大对池底基础造成破坏。

减压水池主要作用之一是使管道内静压降低,并可调节水量,保证管道输水的安全和可靠性。

#### 3.2 镇墩及支墩设置

《城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程》(CSDS 193:2005)第 5.1.5 条规定,在输水管道弯管、三通、异径管、分支管、阀门等处应设支墩,管道的承插口、自由端、伸缩节等处亦应考虑设置支墩,防止位移脱节<sup>[2]</sup>。

本项目输水管径大、管内承压高,因此,管道的转弯处会形成较大的作用力,为使管节间连接稳固,设计中对不小于 11.25° 的水平弯头和大于 11.25° 向上、向下弯头全部使用强度为 C20 素混凝土镇墩或支墩;而小于 11.25° 的竖向和水平转角利用管道借转解决,借转段的长度与每根管道借转角度的控制,在施工阶段根据现场实际情况确定。明管敷设管段应设置镇墩,间距不宜大于 100 m,镇墩间管段用管座或支墩支撑,并应安装伸缩节。结合管线地基承载力较高及地基土压缩模量较大的有利条件,为减少土方开挖,节约占地,水平及向下弯头均采用全包形式,而向上弯头采用半包形式。为减小镇墩与管道间在地震中相互影响,设计中在管道与混凝土墩内设有软垫圈。

本工程共设置支墩 230 座,镇墩 45 座。

### 3.3 水锤防护

长距离输水管在正常运行、调节流量、启闭阀门时产生水锤作用,而在重力有压流输水管道突然关闭时产生的水锤作用最大。水锤事故发生的主要原因是弥合水锤升值很大,水锤压力上升值较高。

非常水锤压力  $\Delta H$  估算为:

$$\Delta H = a\Delta V/2g \quad (1)$$

$$a = \frac{1435}{\sqrt{1 + (E_0/E)(D/\delta)C_1}} \quad (2)$$

式中  $E_0/E$ ——水的弹性系数与管壁材料的弹性系数比,铸铁管为 0.02,钢管为 0.01

全管道固定并没有轴向运动  $C_1 = 1 - \mu^2$ ,  $\mu$  为管壁材料的泊松比,铸铁管取 0.3,钢管取 0.3。

经计算可得水锤在 DN400 和 DN500 球墨铸铁管中的传播速度分别为  $a = 1\,012\text{ m/s}$  和  $a = 1\,278\text{ m/s}$ 。

$\Delta H = a\Delta V/2g$ ,  $\Delta V = V_{\text{初}} - V_{\text{末}}$ ,弥合后  $V_{\text{末}} = 0$ ;水锤计算完成后应进行校核,按下式校核输水管到关键部分的最大压力与管道强度是否满足要求:

$$2\Delta H + H_0 \leq 1.5H_k \quad (3)$$

式中  $H_0$ ——正常工作压力

$H_k$ ——管道公称压力

详细计算结果见表 2。

表 2 原水输水管水锤计算结果

Tab. 2 Water hammer calculation results of raw water delivery pipeline

管段编号	起点桩号	终点桩号	管径/mm	流量/( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ )	流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$H_0$ /MPa	$a$ /( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta V$ /( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$\Delta H$ /MPa	$2\Delta H$ /MPa	$2\Delta H + H_0$ /MPa	$1.5H_k$ /MPa	选择管材
1	K0 + 00	K1 + 134	DN400	254.63	2.03	1.14	1 041	2.03	1.08	2.16	3.30	6.30	K9 级球墨铸铁管
2	K1 + 134	K20 + 060	DN500	254.63	1.30	1.88	1 012	1.30	0.67	1.34	3.00	5.70	K9 级球墨铸铁管

可见,原水输水管承压相对较高,引起水锤压力较大。为保证供水安全,在输水管桩号 K19 + 618 处设置超压泄放保护阀,泄压阀按水锤压力选用,主管道公称直径为 500 mm,泄压值为 3.0 MPa。

输水管道采用球墨铸铁管,其中 DN400 管允许工作压力为 4.2 MPa,最大允许工作压力为 5.6 MPa;DN500 管允许工作压力为 3.8 MPa,最大允许工作压力为 5.1 MPa。所选管材压力等级能够满足本工程输水要求。所选管材输水压力等级见表 2。

水锤产生于有压输水管道中,尤其是长距离输水工程的管道水锤更是一个关键的技术问题,也是

产生工程事故的主要因素,为减小水锤的危害,除了设置减压水池以外,还应采取下列措施:①在管道特殊节点及特殊点处设置空气阀,以削减断流弥合水锤。②安装超压泄压阀,当管道压力值大于设定值时将自动打开,对管道进行泄压。③通过缓闭延长启闭时长来消除水锤对管道的作用。

### 4 运行结果

该工程分别在输水管道的七个地段安装了测压测流装置,以便对管道进行实时监测,保障管道输水安全。管道运行监测数据见表 3。截至 2018 年 6 月,管道输水能力、流速、压力等均满足设计要求。

表 3 原水输水管运行结果

Tab. 3 Operation results of raw water delivery pipeline

管段编号	起点桩号	管径/mm	长度/m	试验压力/MPa	实测动压/MPa	最低管中心标高/m	实测流量/( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ )	流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
1	K0 + 00 ~ K1 + 134	DN400	1 134	1.5	0.776	2 268.80	254.65	2.03
2	K1 + 134 ~ K4 + 628	DN500	3 494	2.0	1.183	2 130.41	248.86	1.27
3	K4 + 628 ~ K6 + 602	DN500	1 974	1.5	0.637	2 157.30	245.39	1.25
4	K6 + 602 ~ K8 + 700	DN500	2 098	2.0	0.937	2 143.01	243.08	1.24
5	K8 + 700 ~ K11 + 065	DN500	2 365	2.0	0.953	2 133.08	240.76	1.23
6	K11 + 065 ~ K14 + 229	DN500	3 164	2.0	0.598	2 112.56	237.29	1.21
7	K14 + 229 ~ K20 + 060	DN500	5 831	2.5	0.121	2 152.90	233.82	1.19



## 5 结论

在洱源县第二自来水厂原水输水管线的设计中,确定了长距离输水管的线路走向、输水管径、管材选定、附属设施和水锤安全防护措施,依靠水源与水厂自然高差,使长距离安全重力输水得以实现,提高了供水水质水量的可靠性、输水安全性,实现了管道运行安全、可靠、经济输水的目标。

## 参考文献:

- [1] GB 50013—2006,室外给水设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2006.  
GB 50013 - 2006, Code for Design of Outdoor Water Supply Engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2006 (in Chinese).
- [2] CECS 193:2005,城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2006.  
CECS 193: 2005, Technical Specification for Long Distance Water Transmission Pipeline Engineering of Urban Water Supply [S]. Beijing : China Planning Press , 2006

(in Chinese).



**作者简介:**李丽(1987 - ), 女, 山东菏泽人, 硕士, 工程师, 西南林业大学给排水工程专业课教师, 主要从事水处理理论技术与教学工作。

**E-mail:**305210684@163.com

**收稿日期:**2018 - 05 - 07

(上接第 50 页)

- Xia Shaofeng, Wang Maomao, Gao Wenqiao. Adjustable Weir Plate for Regulating Flow Distribution[P]. China: ZL201520301759.3, 2015 - 09 - 09 (in Chinese).
- [2] 贺卫宁, 陆先镭, 胡远来. 平流沉淀池前配水渠流态的数值模拟[J]. 中国给水排水, 2013, 29(7): 56 - 58, 63.  
He Weining, Lu Xianlei, Hu Yuanlai. Numerical simulation of flow pattern in distribution channel before horizontal-flow sedimentation tank [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(7): 56 - 58, 63 (in Chinese).
  - [3] 王旭宁, 孙学东, 姜红安, 等. 平流沉淀池运行中存在的问题及改造措施[J]. 中国给水排水, 2006, 22(10): 27 - 30.  
Wang Xuning, Sun Xuedong, Jiang Hongan, et al. Problems existing in the operation of horizontal flow sedimentation tank and their improving measures[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(10): 27 - 30 (in Chinese).
  - [4] 伍新政. 平流沉淀池排泥系统的优化改造[J]. 给水排水, 2011, 37(2): 19 - 21.  
Wu Xinzheng. Optimal modification of horizontal settling

tank sludge drainage system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(2): 19 - 21 (in Chinese).



**作者简介:**夏绍凤(1980 - ), 男, 安徽马鞍山人, 硕士, 高级工程师, 国家注册公用设备工程师, 注册咨询工程师, 从事给排水研究设计工作。

**E-mail:**714560615@qq.com

**收稿日期:**2018 - 05 - 21