

竖井式分层取水方案设计

徐 宝

楚雄欣源水利电力勘察设计有限责任公司 云南 楚雄 675000

摘 要：以前设计的水库大多数采用输水隧洞输水，主要取水库底层水，隧洞进口洞顶一般位于死水位以下2m。随着水库的多年运行，来沙逐渐淤积库盆，有机物淤泥质逐渐在坝前及隧洞进口囤积，甚至高于隧洞进口底板高程。供水水质逐渐下降，常常浑浊并伴有一股腥臭味，为满足较好的人畜供水水质，水库采用分层取表层优质水是必要的。

关键词：分层取水；水质；竖井

前 言

龙虎水库为牟定县城市供水水源，随着多年的运行，原隧洞进口逐渐被淤积，水质变差，为满足较好的供水水质，需将现状的取底层水改为分层取表层水。由于隧洞进口周围地形平缓，进口距离岸边较远，分层取水方式选择具有一定的难度，受条件限制，本工程最终采用了较长工作桥与岸边连接的竖井式取水方式，达到了分层取水的目的。

1 工程概况

龙虎水库位于牟定县城西北15km的龙川河上游老虎箐狭口地段龙虎村，属金沙江水系龙川江支流龙川河。水库总库容1387万m³，规模为中型。水库现状枢纽工程由大坝、溢洪道、左岸输水隧洞和右岸输水隧洞组成。2022年除险加固，对右岸输水隧洞进行改造，主要改造的内容为：为满足下游牟定县城供水要求，在右岸输水隧洞进口新建分层取水竖井^[1]，并在隧洞内衬DN1400钢管至出口，与现状牟定县县城自来水厂进水管相接。

2 地形条件

坝址区为不对称的“U”型谷，左岸坡稍陡，自然坡度30°~32°；右岸较缓，自然坡度18°~20°。坝址左岸山体连续性好，山体厚实；右坝肩为一稍微凸出的山嘴，山体相对单薄。右岸输水隧洞进口位于坝轴线上游约255m处，进口周围地形较为平缓，且埋深较浅，后段地形略陡，埋深较深。现状隧洞进口与正常水位对应的右岸库岸边坡距离约143m。

3 工程地质条件

右岸输水隧洞地层岩性为白垩系江底河组泥岩夹粉砂质泥岩，岩体强~弱风化。取水竖井位于隧洞进口

处，地表有第四系残坡积含砾粘土、砾、碎石土覆盖，厚度0.5m左右，竖井围岩为灰黄色薄层状杂色泥岩、钙质泥岩、局部夹砂岩。上部平台以下2~3m，强风化，节理裂隙发育，为碎裂结构，完整性与稳定性差；中下部基岩弱风化，节理裂隙较发育，以层状结构及碎裂结构为主，完整性与稳定性差。

4 分层取水设计

4.1 右岸输水隧洞现状

隧洞全长547m，洞身长442m，断面尺寸1.8×2.3m，钢筋混凝土衬砌，衬砌厚度30cm。在隧洞坝轴线处设有堵头，堵头中埋设有D630取水钢管沿隧洞右边墙包管至出口，与现状牟定县自来水厂进水管相接。

4.2 分层取水方式选择

右岸输水隧洞现状进口底板高程1880.00m，目前已淤积至高程1878.00m。水库死水位1893.00m，正常蓄水位1931.36m，校核洪水位1935.62m。隧洞底板高程与校核水位间高差55.62m，正常蓄水位与死水位间高差38.36m，水位变幅较大，考虑对现有隧洞进口进行改造，实现分层有压式取水^[2]，取水口考虑5个，间距7.6~9m。本水库工程任务主要为牟定县城市供水，隧洞设计输水流量1.5m³/s。综合本工程实际，分层取水采用竖井式、斜卧管式、浮管（筒）式^[3]三种形式进行比选，如下。

分层取水方式对比表

项目	竖井式	斜卧管式	浮管（筒）式
布置情况	在隧洞进口设分层取水竖井，采用外侧六边形、内侧直径3m圆形结构。井壁不同高程设5个分层取水口，分别设1×1m闸门和螺杆启闭机。竖井与右岸边采用工作桥连接，桥长140m。启闭机拉杆长11.2~45.3m。	在隧洞进口右侧沿坡面设斜卧管分层取水，卧管直径1.4m。在卧管不同高程设5个分层进水口，分别设1×1m斜拉闸门和螺杆启闭机。启闭机斜向拉杆长39.5~160.2m。	在隧洞进口设浮管（筒）式分层取水，由浮筒、取水口、取水管组成。取水管径1.2m，管长65m。

作者简介：徐宝（1983.02—），男，四川遂宁人，高级工程师，从事水利水电工程设计工作。通讯地址：云南省楚雄州楚雄市阳光大道345号，邮编：675000，联系电话：13987898323，电子邮箱：254971309@qq.com

续表:

项目	竖井式	斜卧管式	浮管(筒)式
分层取水原理	根据库水位,开启不同高程的闸门,达到分层取水目的。	根据库水位,调节取水管,使取水口始终处于表层水附近,达到分层取水目的。	
优点	结构简单,运行最可靠。	投资较省。	投资省。
缺点	土建工程量大,投资高,闸门及拉杆防腐困难。	土建工程量大,投资较高。启闭机拉杆过长,重量大,启闭难度大,拉杆被卡着、拉不起来的风险非常大。	适用于小型、水浅的水库分层取水;本工程取水管大、长、重,损坏风险非常大,且损害后水下难维修,总体可靠性差。

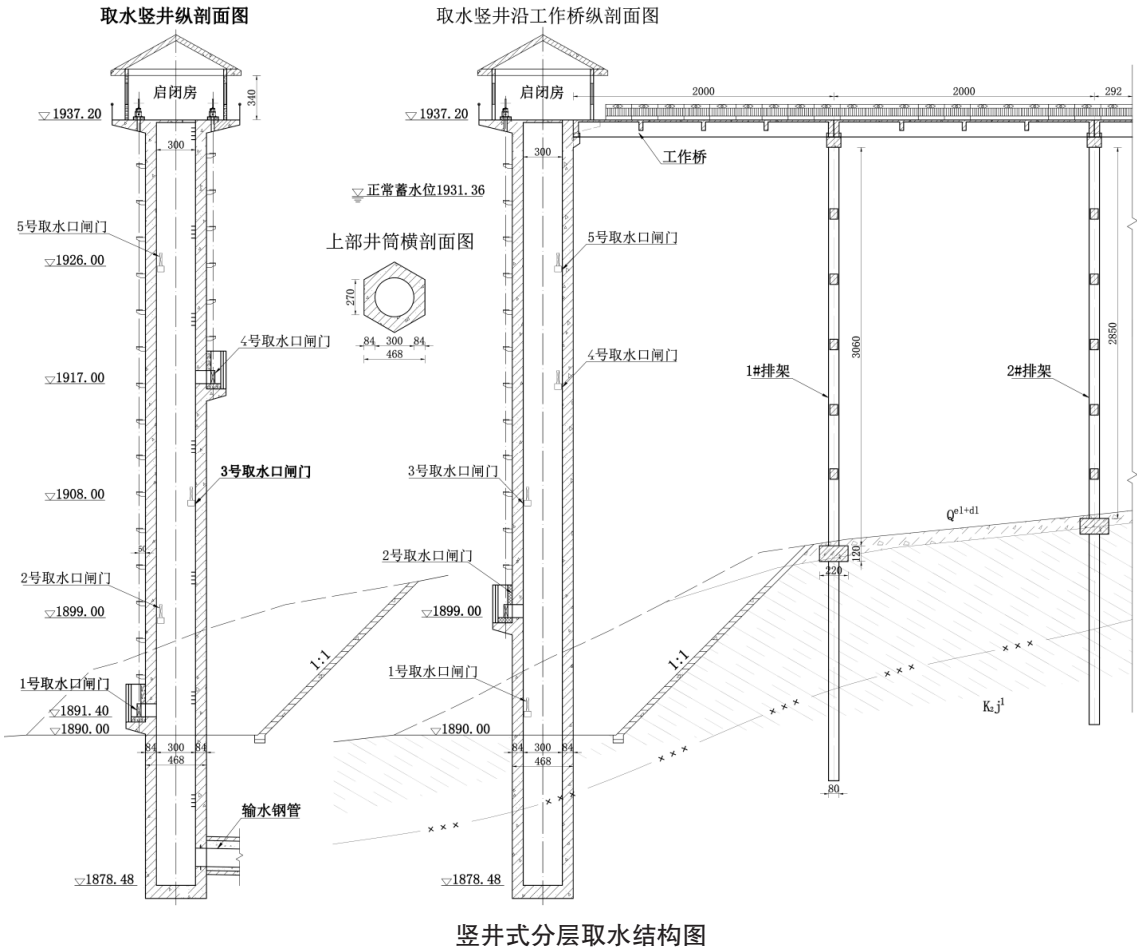
从工程投资、安全性、可靠性、运行的便利性等综合推荐竖井式分层取水方式。

4.3 分层取水结构布置

4.3.1 结构布置

分层取水竖井位于右岸隧洞进洞口后18m处。竖井底板高程1878.48m,启闭机层高程1937.20m,竖井井筒较高,达58.72m,为保证竖井的稳定性,竖井采用半外露式,其中:地面以下段高11.52m,外露段高47.2m。竖井内壁为直径3m圆形结构,地面以下段外壁采用4.68×5.4m的四边形;外露部分采用边长2.7m的正六边形。竖井采用五边设分层进水,一边设工作桥。取水口分别位于高程1891.40m、1899.00m、1908.00m、1917.00m、1926.00m,分别设拦污栅和1×1m铸铁闸门[1-2],用于分层取水并兼有事故检修作用^[1],分别配30t/30t/20t/20t/10t手电两用螺杆启闭机。竖井底部与隧洞及内衬钢管连接,并设1.46m深的消力坑。

启闭层与右岸山体采用工作桥连接,工作桥长140m,桥宽2.7m,单跨20m,采用简支梁结构。工作桥桥座采用6个排架。排架高分别为44.4m、41.1m、38.2m、31.0m、30.35m、13.9m,排架下部基础采用摩擦端承灌注桩^[3]。





竖井式分层取水施工完成后照片

4.3.2 运行方式

取水闸门在相应的库水位下运行。当库水位在1891.40~1902.00m时,由1号取水口闸门取水;当库水位在1902.00~1911.00m时,由2号取水口闸门取水;当库水位在1911.00~1920.00m时,由3号取水口闸门取水;当库水位在1920.00~1929.00m时,由4号取水口闸门取水;当库水位高于1929.00m时,由5号取水口闸门取水;保证取水口闸门顶有2m水头,同时防止漂浮浪渣不进入取水口[4-6]。

4.4 竖井结构计算

4.4.1 井筒结构计算

竖井按3级建筑物设计。井筒内侧为3m圆形,外侧为六边形,将其简化为圆形进行计算,壁厚84cm。计算所采用的程序是“水工隧洞钢筋砼衬砌计算机辅助设计系统SDCAD5.1“水利版”。结构计算采用水工隧洞设计规范附录中的边值法。采用外水为校核水位(最大水头55m),井筒无内水的工况进行计算。

经过计算最大剪力14.73kN,最大弯矩13.461kN·m,计算配筋面积7.5cm²,实际配筋φ16@200,单位配筋面积10.05cm²。

4.4.2 井筒抗浮计算^[5]

采用校核水位下,井筒无内水的工况进行计算,采用以下阿基米德原理公式:

$$F_{\text{浮}} = \rho g V_{\text{排}}$$

式中: $F_{\text{浮}}$ -竖井井筒浮力, kN;

ρ -水密度, 1000kg/m³;

g -重力加速度, 9.81;

$V_{\text{排}}$ -竖井排开水的体积, m³。

经过计算, $F_{\text{浮}} = 11333\text{kN}$,竖井井筒重力 $mg = 20609\text{kN}$,竖井抗浮稳定安全系数为1.82,满足规范大于1.1的要求。

结语

1、龙虎水库原设计的隧洞进口取底层水^[5],随着库盆的淤积,水质逐渐变差。为有效提高人饮水质,采用分层取表层水是非常必要的。随着技术的不断进步和创新,分层取水将在未来为人们的生产和生活提供更加优质的水资源。

2、分层取水方式较多,需根据地形条件、地质条件、供水流量、耐久性、运行管理等综合考虑分层取水的方式。龙虎水库采用竖井式、斜卧管式、浮管(筒)式进行比选,采用较长工作桥与岸边连接的竖井式取水方式是合适的,实施完成后分层取水效果较好,结构安全,运行方便、简单。

参考文献

- [1]NB/T35053-2015.水电站分层取水进水口设计规范[S].
- [2]SL285-2020.水利水电工程进水口设计规范[S].
- [3]JGJ94-2008.建筑桩基技术规范[S].
- [4]严希培.东坑水库工程分层取水口方案设计[J].黑龙江水利科技,017(4):116-118.
- [5]楼胤志.龙英水库扩容工程分层取水口设计[J].广西水利水电,2021(3):36-37,45.
- [6]陈为博,陈益民,潘益斌.白鹤滩水电站进水口分层取水方案选择分析[J].云南水力发电,2018,34(6):92-94.