

文章编号:1001-4179(2013)12-0050-03

# 干河泵站引水隧洞特大涌水处理实践

张天明<sup>1</sup>, 苏红兵<sup>2</sup>, 彭佑奎<sup>3</sup>

(1. 云南省水利厅, 云南 昆明 650021; 2. 云南农业大学 水利水电与建筑学院, 云南 昆明 650201; 3. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021)

**摘要:**牛栏江-滇池补水工程干河泵站引水隧洞在穿越地下暗河施工中,其2号施工支洞出现特大集中涌水。为解决涌水问题,通过专题补充地质勘探,查清了隧洞掌子面的涌水量、涌水的补给途径、水压等情况,并采取分流、分级强抽排结合洞内开挖支护的措施,使涌水得到控制,而后根据支洞段开挖所揭示的暗河情况,按制订的封堵预案成功封堵涌水。该工程抢险实践对类似岩溶地区地下隧洞特大涌水处理提供了成功经验。

**关键词:**泵站; 引水隧洞; 涌水处理; 岩溶暗河; 牛栏江-滇池补水工程

**中图法分类号:** TV67      **文献标志码:** A

牛栏江-滇池补水工程干河泵站安装4台立式离心水泵,机组单机功率22.5 MW,总装机90 MW,最大提水扬程233.3 m。泵站主要由进水建筑物、地下主厂房、地面厂区建筑物、出水系统组成。地下洞室结构埋深150 m,洞室尺寸为69.25 m×20.2 m×39.15 m。引水建筑包括取水口、引水隧洞、调压井、进水主管、岔管及进水管。整个泵站系统坐落在岩溶较发育地区,物质组成以白云质灰岩为主。引水隧洞长3 313 m,取水口位于牛栏江左岸陡崖下,地形坡度陡,取水高程为1 744 m。洞段出露灰岩,岩层缓倾向牛栏江上游偏山内,产状N41°~60°W, SW∠4°~12°,岩石多为弱风化,岩体较完整,但陡坡卸荷裂隙(N25°~40°W, NE∠65°~70°)发育,根据地表地质测绘判断其卸荷在水平方向发育深度为15~30 m,局部有危岩分布,危岩对进水口稳定安全有一定影响,取水口边坡基本稳定(Ⅲ类)。引水隧洞围岩均为P1<sub>q+m</sub>厚层状弱风化灰岩,岩石坚硬,岩体一般较完整。

## 1 涌水概况

泵站取水口位于干河与牛栏江交汇处下游约330

m的牛栏江左岸,属于德泽水库库内取水泵站。取水口段河床高程为1 729.20 m。引水隧洞进口断面正常蓄水位1 790 m,泵站近期运行最低限制水位1 752 m。隧洞引水流量23 m<sup>3</sup>/s,引水隧洞洞径4 m,为圆形有压隧洞,进口孔口尺寸6 m×10 m。隧洞尾段下穿流经牛栏江一级支流——干河,下穿段干河河床高程1 772 m。进水口高程1 744 m,为便于施工,引水洞分别设有1、2号施工支洞(见图1),1号施工支洞控制开挖长度2 464.5 m,2号施工支洞控制开挖长度848.5 m,采用常规的新奥法施工。2号支洞上游在开挖至桩号2+483.5 m附近时,掌子面的中下部出现涌水,集中在3~4个喷水点出水,最大一个点距开挖面洞底高约1.5 m,水柱直径20 cm左右,喷射长度15 m,总涌水量2 000 m<sup>3</sup>/h。结合开挖爆破前钻进过程中在掌子面底部以上1 m左右位置钻到一宽60~70 cm的空腔,初步分析存在一管道式地下暗河,承压水头在35 m左右。涌水后,在启动已有的抽排水设备的同时,在洞内进一步加强了抽排水措施,布置在2号支洞的主力泵站抽水能力达到4 200 m<sup>3</sup>/h,使洞内涌水迅速得到控制。考虑到与之相连的主厂房、调压井正

收稿日期:2013-04-22

作者简介:张天明,男,总工程师,教授级高级工程师,主要从事水利工程设计及建设管理工作。E-mail:zhang9703-m@sina.com

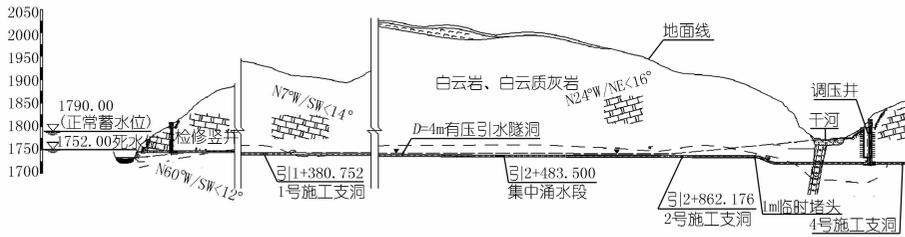


图 1 引水隧洞剖面

应的变化。这表明两者之间存在较直接的水力联系。而后在对引水隧洞 2 号施工支洞及附近地表水样进行的水质分析也表明,地表水与洞内水的水质主要构成指标是一致的<sup>[2]</sup>。分析认为,隧洞涌水处上游从干河补给水源,在下游向干河排泄,引水隧洞掌子面突水主要来自于地下断裂暗河带,与干河有较密切的水力联系,其主要补给源应位于天生桥暗河,因此判断该河段是隧洞突水的主要来源。根据初步分析计算,干河正常水位情况下,隧洞涌水量为 5 054 ~ 7 816 m<sup>3</sup>/h,平均值为 6 114 m<sup>3</sup>/h。大暴雨情况下,隧洞涌水量为 6 358 ~ 9 111.8 m<sup>3</sup>/h,平均值为 7 127 m<sup>3</sup>/h,水头在 35 ~ 50 m<sup>[2]</sup>。

### 3 处理措施

#### 3.1 强行排水

在基本查清隧洞掌子面涌水量、补给途径、水压、涌水总量等情况下,采取了强排结合洞内开挖支护的处理措施。抽排能力按大于 7 200 m<sup>3</sup>/h 的排水量设计,考虑到仅仅只是从 2 号施工支洞抽排水,将无法安排满足抽排能力的抽水设备,同时也无法实施清淤、开挖作业。因此,设计布置了两处抽排水点,即在引水洞 2 号支洞和 4 号施工支洞各布置一处排水点,实行分流、分级抽排。具体情况为:2 号施工支洞最大抽水能力为 4 200 m<sup>3</sup>/h,4 号支洞及主交通洞两级最大抽水能力为 4 800 m<sup>3</sup>/h。

分流排水方案实施后,引水洞内水位迅速降低,涌水得到有效控制,分流方案取得了预期的效果。

#### 3.2 引水隧洞穿暗河段处理

在强排水迅速降低施工工作面水位的同时,研究了洞内涌水段的处理方案。根据超前地质预报及超前探孔初步分析成果和管道型涌水的分析判断,在剩余的 19.3 m 未爆破开挖段中,选择涌水量相对较小的顶拱部位,从 1 号施工支洞下游实施开挖,贯通半洞后,直观了解出水情况。为此,制定了 3 组预处理方案:① 开挖后根据涌水点情况,用 500 mm 钢管分左右两侧接管,周边使用膜袋回填,钢管装闸阀将水封堵回原途径,若实施成功迅即开展清淤及混凝土浇筑;② 管道式涌水情况揭示出来后,仍采用钢管,以下埋倒虹吸恢复原地下河道流态,接着进行后续施工;③ 开挖后,若水量没有较大变化,则在桩号 2 + 483.5 m 附近接管,从上游排水,给 2 号洞提供必要的施工工作面。

处在紧密施工期,为确保安全,对剩余段在爆破开挖前,还在 2 号施工支洞下游 180 m 的“龙降尾”起点处设置一道能够承压 60 m 水头的 C30 混凝土堵头。在施工准备工作完备的情况下,对 2 号施工支洞上游掌子面左上部 1/4 面积范围内先进行超前钻孔探测,在探测结果显示无大的渗水情况下,利用主汛期还未来临的时机,对剩余的 19.3 m 未开挖段掌子面左上部进行了小药量爆破,随即出现更大的集中涌水,涌水仍呈射流状,涌水量超过 5 000 m<sup>3</sup>/h,主力泵站被淹失效,整个 2 号支洞全线满洞充水直至支洞口附近。

## 2 专题补充地质勘察

国内出现过的隧洞涌水量较大的工程有:四川长河坝电站交通洞特大涌水,该洞断面宽 14.12 m,高 11.12 m,涌水量 890 m<sup>3</sup>/h<sup>[1]</sup>,采用离掌子面一定距离设置集水井,污水泵抽排的施工方式解决了涌水问题;甘肃省引洮供水一期工程,其 3 号隧洞为马蹄型,断面宽 4.72 m,高 4.93 m,开挖中遭遇岩溶管道型压力涌水,涌水量 900 m<sup>3</sup>/h,最大达 1 640 m<sup>3</sup>/h,采用“堵排结合,以排为主”和涌水洞段固结灌浆堵水的抢险方案成功将涌水洞段封堵。而干河泵站引水洞在掌子面尚未完全开挖的状态下涌水已超过 2 000 m<sup>3</sup>/h,由于涌水量大,其补给途径、水头、总量等情况不明,需要进一步组织专题补充地质勘察,查清地下水的基本情况,以便采取必要的工程技术措施迅速处置涌水。

补充地质勘察时,首先对地表河段进行了共 3 次实际测流分析,测流情况见表 1。

表 1 干河测流流量统计 m<sup>3</sup>/s

序号	测点	第 1 次	第 2 次	第 3 次
		测流流量	测流流量	测流流量
1	天生桥溶洞进口测点	4.8	2.02	1.45
2	天生桥溶洞出口测点	3.63	0.76	0.797
3	引水隧洞穿干河测点	3.72	1.37	

从测流情况看,地表河道从 2011 年后汛期到 2012 年枯水期,天生桥溶洞进出口流量有 0.65 ~ 1.26 m<sup>3</sup>/s 的变幅,洞内集中涌水的掌子面的水量也存在相

在分流排水取得实际效果后,2012年12月,对1号施工支洞下游19.3 m未开挖段,采用小药量、短进尺、弱爆破施工实现上半洞贯通<sup>[3]</sup>,贯通后涌水量总量仍维持在6 100 m<sup>3</sup>/h,开挖揭示出的地下暗河在靠山体侧水量较大,约占总涌水量的80%,靠河床侧占20% (见图2)。

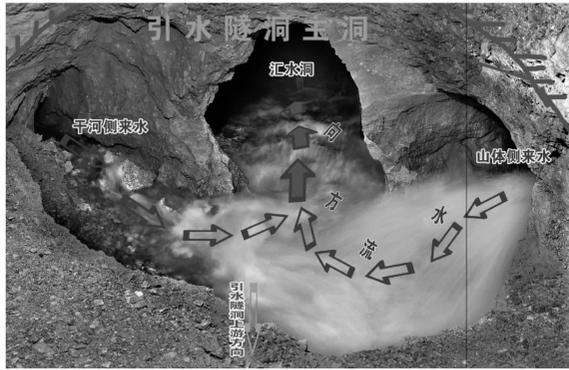


图2 集中涌水段开挖后暗河情况

根据贯通后的涌水情况,采取了第一组处理方案,用混凝土膜袋和钢管封堵取得成功。但在2号支洞与主洞交汇处距开挖面400 m远的地段,仍出现水量不大于1 000 m<sup>3</sup>/h的非集中涌水,利用原有的排水系统及时抽排。地下暗河堵水成功后,对淤积近1 a的2号施工支洞中的淤泥进行清理,清理时,在淤泥中适当掺入渣料,便于机械发挥作用。在清淤完成的基础上,钢筋混凝土衬砌有序推进,2013年2月整个引水隧洞混凝土浇筑完成,引水系统施工取得了成功。

## 4 结语

(1) 在喀斯特地区建设隧道,由于岩溶发育,地下

水丰富,在短时间内不易查清地质条件的情况下,会给施工带来极大的困难。特别是对设计阶段勘探深度不够的工程项目,要通过科学合理分析,严谨认真地组织补充勘探,加强施工过程的设计技术支持,及时解决施工过程中出现的超出设计预期的突发情况,并督促参建各方按照设计要求施工,切实贯彻设计意图。

(2) 牛栏江-滇池补水工程干河泵站引水隧洞涌水量大、水急,总涌水量达7 200 m<sup>3</sup>/h,在小断面开挖状况下进行处理施工极为困难,且由于前期工作周期短,地质勘察不充分,施工中处理相对被动,既要投入大量的人力物力进行应急排水工作,同时又要为特殊情况下开挖支护作出额外的布置安排,使得工期和投资都受到影响,充分说明设计的前瞻性和技术引领作用是极其重要的。

(3) 本处理方案的实施成功,得益于及时认真地进行了补充地质勘探,基本查清了地下暗河的源头、途径、水量和补排关系,为施工组织提供了较为详尽的技术方案,为成功处理涌水夯实了基础。

(4) 此次对隧洞特大集中涌水处理,由于补充地质勘探及施工准备等因素的影响,工期安排偏长,处理时段若选在枯水季节效果将更佳。

## 参考文献:

- [1] 田洪. 长河坝电站特大涌水条件下大断面隧洞开挖施工[J]. 四川水力发电, 2008, (8).
- [2] 云南省水利水电勘测设计研究院. 干河泵站设计报告[R]. 昆明: 云南省水利水电勘测设计研究院, 2012.
- [3] 张立德, 周小兵, 赵长海. 软岩隧洞设计与施工技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

(编辑: 赵凤超)

## Practice of extra severe water gushing treatment of diversion tunnel of Ganhe pumping station

ZHANG Tianming<sup>1</sup>, SU Hongbing<sup>2</sup>, PENG Youkui<sup>3</sup>

(1. Water Resources Department of Yunnan Province, Kunming 650021, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China)

**Abstract:** Extra severe centralized water gushing occurred in No.2 branch diversion tunnel of Ganhe pumping station during the construction of crossing underground river in Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project. In the light of the above situations, water inflow of the tunnel, water supply channels and pressure were identified through specific supplementary geological exploration, the water gushing was finally controlled with the measures of graded pumping and drainage as well as diversion, coupled with excavation and support measures in the tunnel. Then the plan is formulated for plugging with the basis of the underground river situation revealed by the excavation and the water gushing was successfully closed. The engineering emergency treatment practice can provide successful experience to the similar treatment of water gushing of underground tunnel in karst areas.

**Key words:** pumping station; water gushing treatment; underground river in karst areas; Niulan River - Dianchi Lake Water Supplement Project