

# Construction Technology for the Intersection of Road ① and Tunnel ③ of Rawa Hydropower Station

Xiaojin Zhang

Sichuan Wingspan Times Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610081, China

## Abstract

The No.1 tunnel of the ① Road and ③ Road of the Rawa Hydropower Station is the only passage from the hydropower station to the left bank dam abutment and the stockyard, and it is also the only road for the hydropower station to transport large power generation equipment. The excavation section of the intersection is very difficult. On the premise of ensuring that the passage leading to other construction areas is connected first, the conventional excavation construction sequence is changed, and the construction method of first crossing and then overhanging and excavation is adopted. On the premise of ensuring quality and safety, the established goal is completed and it is a similar project. Accumulated construction experience.

## Keywords

Rawa Hydropower Station; tunnel; intersection; construction technology

# 拉哇水电站①道路与③道路 1 号隧道交叉口施工技术

张小金

四川省翼展时代建筑工程有限公司, 中国 · 四川 成都 610081

## 摘 要

拉哇水电站①道路与③道路1号隧道是水电站通往左岸坝肩及料场的唯一通道,也是水电站运输大型发电设备的必经道路,交叉口开挖断面大,施工难度极大。在保证通往其他施工区域通道先行贯通的前提下,一改常规开挖施工顺序,采用先穿越再挑顶扩挖的施工方式,在保证质量与安全的前提下,完成既定目标,为类似工程积累了施工经验。

## 关键词

拉哇水电站; 隧道; 交叉口; 施工技术

## 1 工程概况

拉哇水电站位于金沙江上游,是金沙江上游 13 级开发方案中的第 8 级,拉哇水电站属一等大(1)型工程,总装机容量 2000MW。左岸交通道路工程,主要包含①道路、③道路等工程。③号道路 1 号隧道全长 481m,①号道路隧道全场 6696m,道路性质为永久路,作为进出拉哇沟和必英沟的主要通道。

③号公路 1 号隧道和①号公路隧道相交于 K1 + 720,平面交角为 88° 26' 7"。相交段围岩为Ⅲ 2 类,围岩完整性较好。交叉口设计范围为:③道路 AK0 + 000~AK0 + 029,①道路 K1 + 690~K1 + 736。①道路 K1 + 720 交叉口,断面较大,开挖穹顶最大离地高度达 15m,长 26.5m × 宽 24.35m,如图 1 所示。

【作者简介】张小金(1980-),男,中国陕西宝鸡人,本科,工程师,从事山岭隧道研究。

## 2 施工重难点

### 2.1 交叉口隧道断面超大,扩挖距离短

该交叉口断面超大,③道路 1 号隧道断面宽 12.12m,高 8.55m,①道路隧道断面宽 24.95m,高 14.81m,①道路隧道高度接近③道路 1 号隧道 2 倍,交叉口扩挖距离短,仅有 26.5m 长,导致隧道挑顶爬坡坡度极陡,坡度达到 38.5%,工作空间受限,施工极其困难<sup>[1]</sup>。

### 2.2 交叉口断面多,开挖难度大

该交叉口共有 5 种施工断面分别为 S-Ⅲ 2b (11580 × 8222)、S-Ⅲ 2a (12120 × 8543)、SJC-Ⅰ (24950 × 14805)、SJC-Ⅱ (24050 × 14805)、SJC-Ⅲ、SJC-Ⅳ,隧道断面转换多,断面转换突变。由于隧道断面高且断面多,挑顶工作难,隧道开挖必须分区块分部位小范围开挖,难以使用钻爆台车施工,需要分区域采用脚手架结合小台车搭设钻爆施工平台,平台搭拆极其频繁,钻爆平台变化较大。

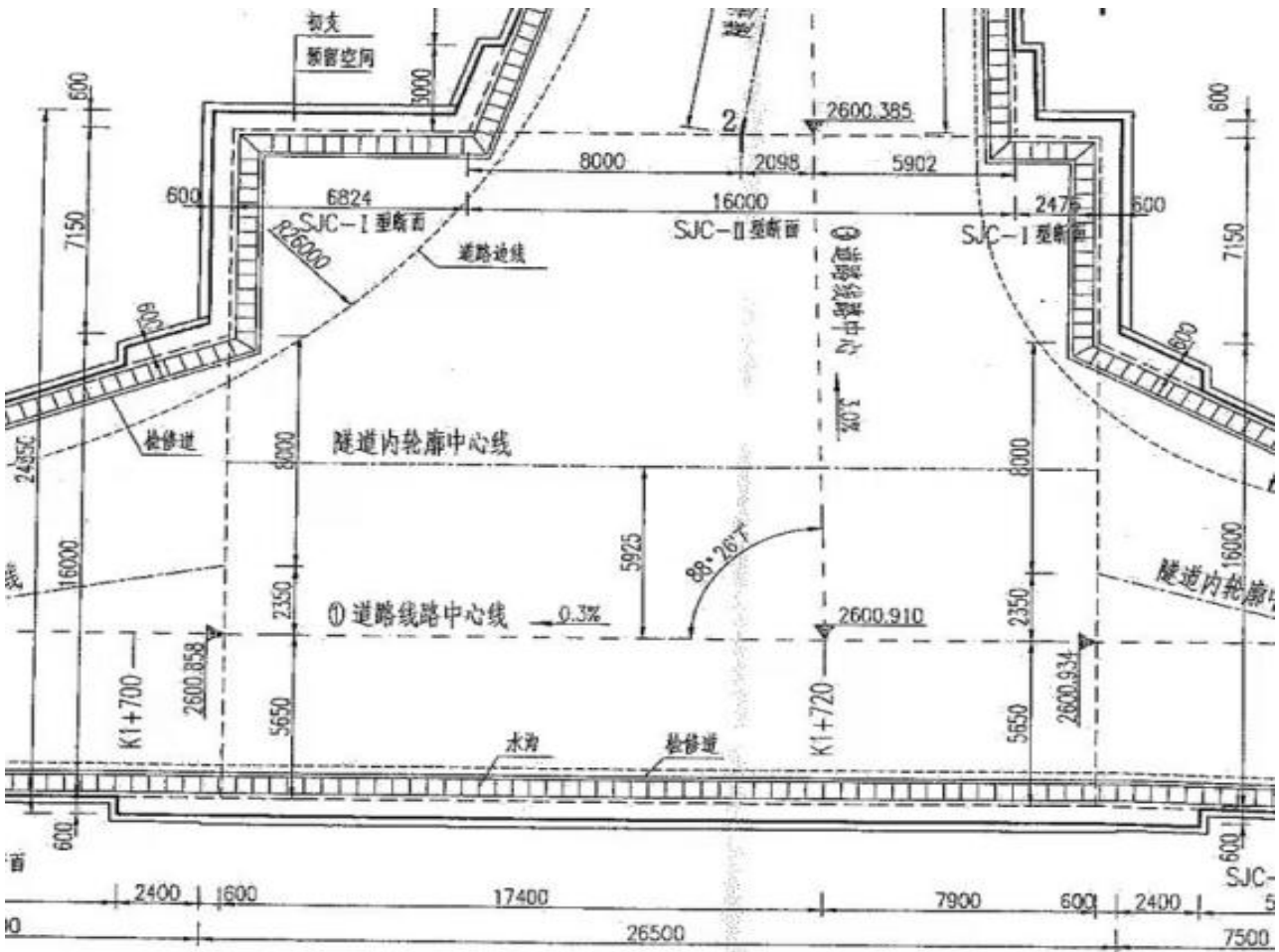


图 1 K1 + 720 隧道交叉口平面设计图

2.3 支护难度大

隧道断面大，拱架在拱顶处不能设接点，拱架每节长度较长，均在 5~7m，拱架分段较长，单节拱架吨位较大，隧道空间小，机械无法配合，全部依靠人工吊运，安装难度极大。

系统锚杆长 6.0m，施工平台受限，很难满足锚杆钻孔需要，需要对平台再次搭建完善，锚杆施做难度大，耗时长。

2.4 横向跨度大横梁架设难度大

两条隧道断面均较大，交叉口交叉部位横向跨度 18m，横梁由两根接长的 I22a 型钢拼接制作而成，横梁过长，拼接困难，为了保证横梁不变形，横梁中间用肋板焊接连接，横梁上下用缀板连接，双拼横梁空隙用 C30 细石混凝土回填。横梁过长，交叉口平台坡度过大，常规运输车辆难以运输，运输困难，横梁过长容易变形，吊装极其困难<sup>[2]</sup>。

3 施工方案

3.1 施工总体方案

①道路和③道路作为进出拉哇沟和必英沟的主要通道，结合整个电站施工情况，为了保证下游隧道方向提前贯通，经四方协商，决定采用 S-Ⅲ 2a' 类断面由 3 号公路①隧道直接转入到①号公路下游施工，对交叉段按照 S-Ⅲ 2a' 类

围岩开挖的洞室做临时支护，先行贯通①号公路隧道下游段；然后采用 S-Ⅲ 2b' 类断面由 3 号公路①隧道直接转入①号公路上游施工，按照 S-Ⅲ 2b' 类围岩开挖的洞室做临时支护，贯通①号公路隧道上游段，然后开始交叉口扩挖施工。

3.2 施工步骤

第 1 步，对 AK0 + 029.5~AK0 + 029 段进行开挖，该段落按照 S-Ⅲ 2a 类单边加宽 20cm 进行开挖。开挖完成后及时按照 S-Ⅲ 2b 型参数支护，钢架间距 9cm。

第 2 步，AK0 + 029~K1 + 690 段以转弯半径 26m，按照 S-Ⅲ 2b 型衬砌结构断面进行开挖支护，开挖长度为 45.3m，断面量为 80.8m<sup>3</sup>，开挖完成后及时按照 S-Ⅲ 2b 型参数支护。

第 3 步同第一步。

第 4 步，K1 + 689.5 到本合同标段贯通面按照设计进行开挖支护。下游隧道先行贯通，开始上游隧道开挖。

第 5 步，在 AK0 + 040 风水管从 3 号公路①隧道向大里程方向左侧改移到右侧，横跨 3 号公路①隧道，风水管延①号公路向大里程方向左侧底脚铺设。电线路布置在①号公路向大里程方向左侧边墙 2.5m 高度。按照 S-Ⅲ 2b 类

断面在交叉口已开挖段再制作一台钻爆台车,用于上游隧道开挖,AK0 + 016.6~K1 + 736 段以转弯半径 12m,按照 S-Ⅲ 2b 型衬砌结构断面(临时路段)进行开挖支护,开挖长度 27m。

第 6 步同第 1 步。

第 7 步, K1 + 736.31 到本合同标段贯通面按照设计进行开挖支护。上游隧道先行贯通,然后进行交叉口扩挖。

第 8 步,按照 S-Ⅲ 2b 类断面在交叉口已开挖段再制作一台钻爆台车,台车宽 11m,高 6.5m,长 6m,台车重约 12t,台车专门用于交叉口扩挖使用。利用专用台车对 AK0 + 18.4~AK0 + 29 段按照 SJC-Ⅲ 型断面扩挖到位。为减少对下游隧道的影响,也为保护风水管线不被严重损坏,先行延隧道中线向大里程方向扩挖右半幅。

风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 AK0 + 018.4~AK0 + 029 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖右半幅、反向压顶、反向扩挖右半幅小里程方向。每循环进尺 3.0m,扩挖到位后按照 SJC-Ⅲ 型断面参数进行支护。

第 9 步,左侧风水管电缆改移至右侧,风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 AK0 + 18.4~AK0 + 29 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖左半幅、反向压顶、反向扩挖左半幅小里程方向。扩挖到位后按照 SJC-Ⅲ 型断面参数进行支护。

第 10 步,利用专用台车对 K1 + 702~K1 + 690 段按照 SJC-Ⅳ 型断面扩挖到位。为减少对下游隧道的影响,也为保护风水管线不被严重损坏,先行延隧道中线向大里程方向扩挖右半幅。扩挖前将布置在 3 号公路①隧道中线向大里程方向右侧的高压电线迁改到左侧,从 K1 + 710 落线。风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 K1 + 702~K1 + 690 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖左半幅、反向压顶、反向扩挖左半幅小里程方向。扩挖到位后按照 SJC-Ⅲ 型断面参数进行支护。

第 11 步,左侧风水管电缆改移至右侧。风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 K1 + 702~K1 + 690 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖左半幅、反向压顶、反向扩挖左半幅小里程方向。扩挖到位后按照 SJC-Ⅲ 型断面参数进行支护。对 K1 + 701.3~K1 + 702 段进行开挖,该段落按照 SJC-Ⅳ 型断面单边加宽到设计尺寸。开挖完成后对 K1 + 702~K1 + 701.3 支立四榀 I18 型钢钢架进行加强支护,钢架间距 20cm。

第 12 步,对延①号隧道 K1 + 720~K1 + 744 左侧底部布置的管道进行保护,风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 K1 + 728.5~K1 + 736 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖右半幅、反向压顶、反向扩挖右半幅小里程方向。电线路从左侧改移到右侧,风水管电缆保护工作完成经验收合格后利用专用台车对 K1 +

728.5~K1 + 736 段按照 SJC-Ⅲ 型断面开始半幅挑顶、扩挖左半幅、反向压顶、反向扩挖左半幅小里程方向。对 K1 + 728.8~K1 + 729.5 段进行开挖,该段落按照 SJC-Ⅲ 型断面单边加宽到设计尺寸。K1 + 728.8~K1 + 729.5 段支立四榀 I18 型钢钢架进行加强支护,钢架间距 20cm。

第 13 步,交叉口 K1 + 702~K1 + 728.5 段扩挖,交叉口扩挖期间上游施工暂停,下游隧道喷混凝土。利用洞碴对 K1 + 689~702 回填,对用于交叉口扩挖的钻爆台车由 11.5m 宽改造为 9m 宽,从 K1 + 702,按照 SJC-Ⅰ 型断面隧道中心线以 20% 的坡度向 1 号洞上游方向掘进至 K1 + 728.5。每茬炮进尺 2.5m,及时对围岩喷 C20 素混凝土 6cm,根据围岩节理及完整情况施做随机锚杆,保证施工安全,开挖的碴料用于回填 K1 + 702~7028.5 的施工平台。从 K1 + 728.5~K1 + 702 按照 SJC-Ⅰ 型断面对拱部进行开挖临时支护<sup>[3]</sup>。

第 14 步, K1 + 702~K1 + 728.5 段线路小里程到大里程方向中台阶右侧开挖。正对右侧边墙分层开挖,逐层开挖到接近开挖轮廓线 50cm。K1 + 702~K1 + 728.5 段线路小里程到大里程方向中台阶左侧开挖。正对右侧边墙分层开挖,逐层开挖到接近开挖轮廓线 50cm。对现有钻爆台车进行改造,改造成宽 6m,高 5.5m,长 4.5m,利用改造的台车对 K1 + 702~K1 + 728.5 段开挖轮廓进行修边,修边过程中每次对台车靠近开挖轮廓线一边采用钢管排架铺设竹跳板进行加宽,每次进尺按照 3m 控制,每侧开挖需要 9 个循环。

第 15 步,对 K1 + 701.7 和 K1 + 728.8 按照堵头墙支护图进行支护。

第 16 步,利用现有台车对 K1 + 702~K1 + 708.8 段按照 SJC-Ⅰ 型断面进行支护,台车摆放在隧道中间,两边全部采用钢管脚手架和台车连接,满铺竹跳板作为施工平台。该段按照两个循环组织施工,第一个循环立设 5 榀钢拱架。第二个循环从 K1 + 701.7 向小里程支立四榀 I22a 型钢钢架进行加强支护,钢架间距 9cm,其他 2 榀钢架间距 100cm,支护参数同上。对同 3 号公路①号隧道交叉处拱架底脚以上 3.5 米暂不喷护<sup>[4]</sup>。

第 17 步,利用现有台车对 K1 + 726.3~K1 + 728.8 段按照 SJC-Ⅰ 型断面进行支护,该段按照 1 个循环组织施工。对同 3 号公路①号隧道交叉拱架处底脚以上 3.5m 暂不喷护。

第 18 步,利用现有台车搭设施工平台对 K1 + 708.8~K1 + 726.3 段③号道路隧道与 SJC-Ⅱ 型断面相交处施做隧道洞门顶锁口锚杆,锚杆采用 Rm32 低预应力锚(锚杆长度 L=9.0m)和 Φ28 砂浆锚杆(锚杆长度 L=9.0m),环向间距 1.0 m,间隔布置,与开挖面夹角 45°,前后两排交错布置。

第 19 步,钢横梁加工制作。选择洞内平整路基,拼接两根 19.5m 的 I22a 型钢,保证工字钢无弯曲,接缝处



用  $120\text{cm} \times 17\text{cm} \times 15\text{mm}$  缀板双面加固, 接缝错开  $1.8\text{m}$ 。在一根工字钢肋上每隔  $1\text{m}$  双面焊两块肋板, 两块肋板间距  $80\text{mm}$ , 肋板尺寸为  $122.5\text{mm} \times 171.5\text{mm}$ , 转交半径  $9.5\text{mm}$ , 确保肋板和工字钢翼缘紧贴。两根工字钢用缀板拉结焊接成一根横梁, 横梁上下均用缀板连接, 缀板尺寸为  $80\text{mm} \times 240\text{mm} \times 15\text{mm}$ 。缀板间隔  $19\text{cm}$  布置一块, 上下对称。钢横梁两榀工字钢每隔  $100\text{cm}$  割孔径  $50$  的孔, 靠近岩面的工字钢开孔中心为工字钢高度中心线以上  $25\text{mm}$ , 内侧的工字钢开孔中心为工字钢高度中心线以下  $25\text{mm}$ 。工字钢两端头封堵, 用 C30 细石混凝土填充两榀工字钢之间缝隙。混凝土达到  $7\text{d}$  强度后开始架设横梁<sup>[5]</sup>。

第 20 步, 利用现有台车对  $K1 + 708.8 \sim K1 + 726.3$  段按照 SJC- II 型断面进行支护, 该段按照四个循环组织施工, 每个循环设立 4 榀钢拱架。

第 21 步, 对洞内回填的碴料全部从 3 号公路①号隧道经 5-1 隧道运至曲引朗沟。钻爆台车移到 3 号公路①号隧道, 出碴结束后从  $K1 + 702 \sim K1 + 728.8$  按照 SJC- I 和 SJC- II 型断面扩挖支护右侧中下台阶, 台阶高度  $5.1\text{m}$ , 支护参数同上台阶, 每榀 2 根  $\phi 25$  砂浆锁脚锚杆, 锚杆长度  $L=6.0\text{m}$ , 锁脚锚杆应与钢架端部角钢焊接。

第 22 步, 为保证上下游交通, 对交叉口垫层及路面采用分幅施工, 施工结束后采用大型多臂钻统一施做预应力锚杆。系统 Rm32 低预应力锚杆, 锚杆长为  $9.0\text{m}$ , 锚杆环向间距  $2\text{m}$ , 锚固段长  $3.0\text{m}$ , 锚固段采用高强锚固剂材料,  $28\text{d}$  不小于  $35\text{Mpa}$ , 锚杆孔口承压垫座尺寸为  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 10\text{mm}$ , 高强螺栓锁定。

## 4 施工要点

①道路与③道路 1 号隧道相交地段处于复杂的三维受力状态, 为保证正洞安全挑顶施工完成, 正洞区域应加强初期支护, 防止钢拱架下沉。严格按照支护参数以及扩挖顺序, 开挖一个循环, 支护一个循环, 每个循环的扩挖进尺不得超过  $2.5\text{m}$ 。

### 4.1 加强环施工

如图 2 中所示, 交叉口共计 10 个加强环, 扩挖每个叉洞前, 必须先将对应的起点加强环施工完成后, 图中的加强环①⑧⑩, 方可进行叉洞扩挖, 叉洞扩挖方向均为从交叉口向外扩挖, 扩挖一个循环支护一个循环, 每个循环的扩挖进尺不得超过  $2.5\text{m}$ , 第一个循环扩挖完成后, 必须先将对应的②⑦⑨加强环施工完成, 方可继续扩挖。进行扩挖时, 扩挖至对应的加强环位置后, 一定先施工加强环, 方可继续扩挖, 严禁冒进。

### 4.2 堵头墙施工

如图 3 所示, 经测算, 4-4 堵头墙面积为  $161\text{m}^2$ , 5-5 堵头墙面积为  $158\text{m}^2$ , 支护面积偏大, 且为垂直结构面, 堵头墙开挖一个循环, 支护一个循环, 支护包括双层钢筋网  $\phi 8@20 \times 20\text{cm}$ 、砂浆锚杆  $C25@1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$  梅花形布置、

C30 喷射混凝土 (厚  $30\text{cm}$ )。施工堵头墙时, 同步施工隧道进洞环向锚杆, 锚杆穿过钢拱架, 并焊接, 使其构成一个完整的支护体系。

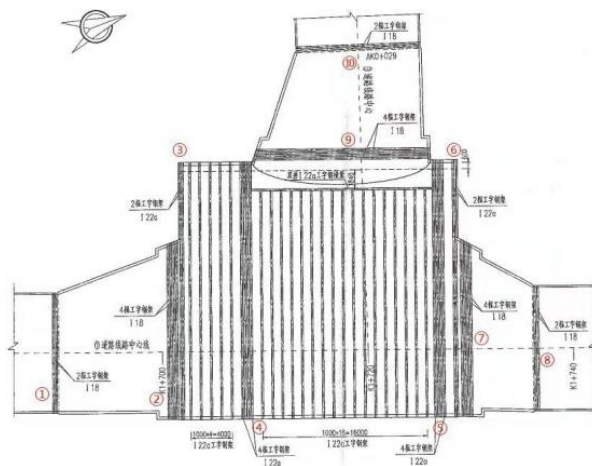


图 2 加强环平面布置图

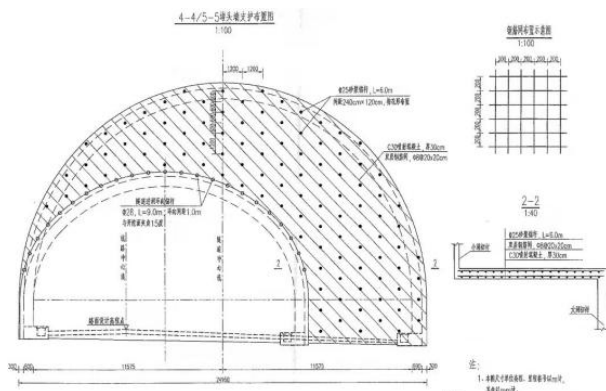


图 3 堵头墙施工图

## 5 结语

根据项目整体性需求, 通过对金沙江上游拉哇水电站①道路与③道路隧道特大交叉口的施工, 结合工程的重难点细化流程, 加强对施工工艺、质量检验和施工安全等方面的及时改进, 加快了隧道施工进度, 确保了项目按期完成履约, 为拉哇水电站其他交叉口施工提供了宝贵经验。

## 参考文献

- [1] 马飞. 长大隧道施工技术分析[J]. 工程建设与设计, 2016(7): 164-166.
- [2] 谭磊. 论隧道施工安全风险与施工管理[J]. 工程技术研究, 2017(1): 130-131.
- [3] 陈翰新, 吴明生. 嘉华隧道立体交叉段设计要点[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(S1): 337-342.
- [4] 柏庆宝. 新建公路隧道与铁路隧道泄水洞交叉施工技术[J]. 中国高科技, 2020(4): 86-87.
- [5] 宋志荣. 二郎山特长深埋隧道通风斜井反井井法施工技术[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(2): 202-206.