

# 渔子溪水电站引水隧洞运行检修情况简介

傅兴友 何仲辉

(映秀湾发电总厂,汶川,623003)

**提 要** 渔子溪水电站引水隧洞是70年代我国水电站中较长的一条隧洞,长8429m。依其沿线地质,分别采用了马蹄型、圆型等断面及钢筋混凝土、混凝土、喷混凝土和不衬砌等衬砌型式。喷混凝土和不衬砌结构型式在长隧洞高水头电站的应用,为水电建设作出了成功的尝试和探索,本文拟对该站引水隧洞运行20年来的检查检修情况作简要介绍。旨在总结长隧洞高水头电站引水隧洞运行检修的经验。

**关键词** 水电站 引水隧洞 运行 检修

渔子溪水电站是70年代建于岷江上游支流渔子溪上的一座高水头引水式电站,它是渔子溪上的第一座梯级电站。该站引水隧洞长8429m,分别采用不衬砌、喷混凝土衬砌、混凝土和钢筋混凝土衬砌等几种型式。运行20年来,引水隧洞进行过19次放空检查和检修。本文拟对引水隧洞运行检修情况作简要介绍,并对其引水隧洞的运行检修提出一些可行的建议。

## 1 概 况

渔子溪水电站设计水头270m,装机160MW(4×40MW),设计引用流量69.2m<sup>3</sup>/s。引水隧洞位于渔子溪左岸,洞线总体走向近东西。隧洞设有枯期、汛期两个进水口,其底板高程均为1175m,调压井处底板高程1148.65m。隧洞设有6个支洞,除1<sup>#</sup>支洞作电站汛期进水口,3<sup>#</sup>支洞被封堵外,其余4个支洞均设有永久检修进入通道,用手推式钢闸门封堵。隧洞底板坡降有11段,在5<sup>#</sup>支洞前平均坡降3.2‰,后段平均坡降为2.805‰,全线平均坡降3‰。不衬砌段长2324.5m,占总长的27.6%,断面近似马蹄型,过水断面32m<sup>2</sup>;喷混凝土段长589.5m,占总长的7%,断面近似马蹄型,过

水断面28m<sup>2</sup>;混凝土和钢筋混凝土衬砌段长5515m,占总长的65.4%,为圆型断面,直径分别为φ4.7、φ4.85和φ5m。设计过流量时洞内流速2.163~3.99m/s,设计内水压为0.5MPa。

隧洞内设有两个集石坑,主要作用是拦截不衬砌段掉石和进入隧洞的卵石及杂物。1<sup>#</sup>集石坑为三室,容积为15×5×1.2m<sup>3</sup>(长×宽×深),位于2<sup>#</sup>支洞上游的2+341.3~2+357.2m处,以上不衬砌段长1317m,喷混凝土段长337m。2<sup>#</sup>集石坑为四室,容积20×5×1.2m<sup>3</sup>,位于5<sup>#</sup>支洞下游的7+320.54~7+341.94m处,1<sup>#</sup>~2<sup>#</sup>集石坑间不衬砌段长1007.5m,喷混凝土段长252.5m。两个集石坑总容积210m<sup>3</sup>。

## 2 隧洞沿线地质条件及衬砌

### 2.1 沿线地质条件

隧洞经渔子溪左岸的擦耳岩、海子沟、洞安沟、肖家沟和瓦斯沟。河谷呈“V”型,隧洞上覆岩体厚70~650m,一般地段大于200m,距河岸边水平距离300~600m。施工开挖岩性主要为花岗岩和闪长岩,全线出露284条断层与43条挤压破碎带。隧洞岩性单一,构造简单,裂隙发育,洞体埋深,工程地质条件

一般较好,施工期发生过岩爆,由于应力释放,形成的隐蔽裂隙成为不衬砌段的隐患。

隧洞沿线断层破碎带宽小于10cm的占全部断层的5%,10~50cm的占35%,50~100cm的占11%,大于100cm的占4%。洞内断层 $F_{c-1}$ 位于8+191m,产状为走向NE40°,倾向NE,倾角32°~40°。破碎带宽25m。岩石受这些断层的切割后,形成结构不同,规模不等,力学性质不均的岩体。

隧洞沿线地下水主要为基岩裂隙性潜水,受构造控制,形成网络型含水透水岩体,间夹相对隔水岩体的渗透场,其埋藏、出流条件与构造发育程度有关,且受地表水补给。根据实际观测在不同位置地表水为18~9000l/min,而开挖后洞内渗水为1~40l/min。隧洞全线开挖衬砌后,地下水渗入情况表明基岩的平均透水性一般较小。隧洞开挖后,裂隙性地下水通过断层以渗、滴、流的方式向隧洞内排泄,与季节和降雨关系密切。1972年7月1日隧洞正式通水后,放空隧洞实测洞内渗流量为0.05~0.108m<sup>3</sup>/s,同年9月10日为0.189m<sup>3</sup>/s,1973年6月12日为0.064m<sup>3</sup>/s。

隧洞稳定与断裂构造的组合,地下水等有密切关系。隧洞虽长,在施工过程中,典型塌方并不多,但有的地方因岩爆影响与母岩之间形成隐蔽裂隙,因而成为不衬砌部份的隐患。

## 2.2 隧洞沿线衬护

隧洞沿线根据地质构造及岩性发育程度选用不同的衬砌型式、厚度和配筋共69段。

在岩石整体性较好的地段采用不衬砌的共22段,长2324.5m,其岩石坚固系数 $f=4\sim7$ ,围岩弹性抗力系数 $K_0=350\sim800$  N/cm<sup>3</sup>,底板用15~20cm厚的混凝土浇筑,隧洞水力综合糙率系数 $n=0.0326$ 。喷混凝土共17段,长589.5m, $f=3\sim7$ , $K_0=350\sim500$  N/cm<sup>3</sup>,底板用混凝土浇筑,喷混凝土厚15~20cm, $n=0.0282$ 。内径 $\varphi 5$ m混凝土及

钢筋混凝土衬砌共26段,长4283m,内径 $\varphi 4.85$ m混凝土及钢盘筋混凝土衬砌段为1段,长185m,内径 $\varphi 4.7$ m混凝土和钢筋混凝土衬砌段长1220m分3段(含1#支洞汛期进水口172m)。混凝土和钢筋混凝土衬砌段 $f=2\sim5$ , $K_0=250\sim500$  N/cm<sup>3</sup>,衬厚分别为35和50cm, $n=0.0014$ 。

钢筋混凝土按限制裂缝平均宽度0.05mm(一级)设计。喷混凝土段计算估计岩石可承担70%内水压力,喷混凝土承担30%内水压力。

隧洞最大设计水头60m,根据计算汛期4台机满负荷运行时,总水头损失为23m。隧洞埋深大于洞内最大水头,水平覆盖大于两倍水头,满足设计规范的要求,岩石不稳定地段采用不衬砌也不致发生山体抬动和山坡滑动。

## 3 隧洞运行检修情况

### 3.1 运行情况

引水隧洞1972年7月充水运行,电站第一台机组同年12月投产,至今已运行20年,每年渔子溪最枯的2~3月安排对隧洞检查和检修。自1973年以来,对隧洞作过19次放空检查,其中有书面记录的资料17次。主要检查冲刷,掉块和渗水等。在20年运行过程中曾有3次隧洞不按规程运行的事故发生。即1985年7月停机沉沙池冲沙时,冲水过快,气流倒灌,事故门盖板被冲掉;1989年6月3日正在发电时隧洞水被拉空,一边减负荷一边关闭闸门抬高水位,事故门、检修门盖板被冲掉;1990年7月7日正在发电,水位急剧下降,减负荷关闸门抬高水位,1#支洞检修门盖板被冲掉。上述3次事故,使隧洞承受了巨大的负压,对其稳定造成了一定的潜在影响。根据电站运行规程规定,20年来隧洞进水口水位在1184~1200m间运行,其水位变幅根据季节和使用枯期进水口的时

间,水位变幅为16m,隧洞均保持了有压水流状态。

### 3.2 检修情况

1973年以来,每年2~3月份停水安排人力对隧洞沿线的掉石、渗水、岩爆、底板冲刷、集石坑淤积进行检查检修。通过对掉石、渗水冲刷的统计和定位,并与以前的情况进行比较,判断本年隧洞沿线的岩爆、地下水、内水外渗和外水内渗等情况,为隧洞安全运行状况作出分析,同时对冲刷部位施以补强措施。

3.2.1 不衬和喷混凝土段掉石情况 不衬段由于岩爆和放空隧洞后内水压力的突然降低,岩石应力的释放而掉块。但不衬段围岩特性较好,埋深和水平侧向厚度都较大,虽运行

了20年,未发生危及电站安全运行的围岩失稳现象。据17次检查资料统计,共掉岩块840块,其掉块尺寸85%以上小于100cm(最大边长),其中50%以上大于30cm,最大尺寸为180cm×130cm×25cm(长×宽×厚)。掉块形状全部为板、片状,厚度均小于30cm,单块重量一般小于10kg。掉块部位一般在顶拱、拱肩、边墙上部,发生过岩爆的洞段都有掉块的现象和痕迹。30%的掉块都是隧洞排干水后掉下来的。在3+672~4+122、4+305~4+405、5+620~6+145三段历年掉块数量较多。历年掉块数量及最大块径统计见表1。

表1 历年掉块数最大块边长统计表

年份	1974	1977	1978	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
掉块数(块)	69	25	103	12	54	89	185	23	15	11	29	19	34	20	17	21
最大块边长(cm)	150	150	140	110	130	150	130	110	70	90	100	110	150	120	180	95

从不衬段围岩掉块特征可以看出,不衬段围岩(I类)洞身虽岩体质量较好,但由于未采用光面爆破,隧洞开挖后,洞身应力重新分布;在围岩中的原构造裂隙的基础上,洞身产生了厚薄不一,随机分布的松弛岩块。运行期由于洞内水压力的变化,洞身围岩在变动的内外水压力反复加荷,卸荷作用下,即导致围岩沿已有裂隙面拉裂或沿岩体中的隐裂隙扩张,逐步形成易失稳岩块,最终在水流冲刷下掉落。同时从历年掉块数量特征可以看出,历年围岩掉块数量与运行机组台数即过水流量速加大有密切关系。

1983年以前隧洞沿线掉块,只检查记录并未进行清理,而只清除支洞附近的掉块,故难以区分新旧掉块。为准确判断隧洞掉块,从1983年以后,我厂每年均对隧洞沿线掉块进行全面清理,准确的掌握了每年的掉块数量。

3.2.2 沿线渗水情况 隧洞开挖前的1966年7月清华大学设计院对肖家沟(4+345m)打了两个钻孔,对未开挖岩石进行了压水试验

检验岩石透水性能,其单位吸水量为0.224l/min·m·m。施工时在桩号2+444~3+785m洞壁进行了压水试验,压力分别为0.2、0.4和0.6MPa,单位吸水量为0.002~6.62l/min·m·m。隧洞处于渔子溪与岷江深切的三角形地带,此段近中滩堡大断层,构造发育,有利于局部地下水埋藏,有利于地下水排泄。1972年7月1日隧洞正式通水后,放空隧洞用浮标法和矩形堰法实测渗流量为64~189l/s,其渗流量观测值见表2。

表2 实测外水内渗流量观测表

时间	桩号	流量(l/s)	方法
19720706	0+30~4+285	70	浮标法
19720712	0+30~4+285	50	浮标法
19720706	0+30~6+780	108	浮标法
19720712	0+30~6+780	70	浮标法
19720706	0+30~8+400	80	浮标法
19720910	0+30~8+400	189	流速仪
19730612	0+30~8+444.8	64	矩形堰

表3 隧洞沿线渗水统计表

编号	渗水段桩号/长度	衬砌型式	渗水情况
1	0+572~0+718/146	喷混凝土、混凝土	1974年9处;0+635m处底板冒水高10cm; 1978年,1983年顶拱8处流水;其余年份1~5处。
2	1+720~1+910/200	不衬、混凝土、钢筋混凝土	内水外渗1~7处,底板冒水,左右边墙喷水。
3	2+125~2+322/197	不衬、钢筋混凝土	外水内渗冒水7处,底板冒水逐年增加。
4	3+110~3+250/140	钢筋混凝土	横向缝、施工缝有渗流水3+200~3+244左边墙喷水。
5	3+614~3+740/126	不衬、喷混凝土、钢筋混凝土	外水内渗、冒水、喷水7处。
6	4+485~4+634/149	喷混、凝土、钢筋混凝土	顶拱边墙、拱肩喷水3处。
7	5+916~6+045/129	不衬、混凝土	外水内渗7处,底板边墙冒水。
8	6+155~6+320/165	不衬、钢筋混凝土	外水内渗12处。
9	8+055~8+200/145	钢筋混凝土	钢筋混凝土裂缝冒水12处。

隧洞渗水主要以滴、渗、流、冒和喷等形式出现。渗水、滴水主要在不衬段及与衬段交接处;冒水、喷水多发生在衬砌段和喷混凝土衬砌段的排水管和分缝处,其位置历年无明显变化,隧洞渗水位置见表3。其渗水位置长约1500m,皆位于隧洞开挖期普遍有裂隙水渗水的地段。裂隙水以滴、渗、流等形式出现。滴水量一般为1~5l/min,少数断层带附近滴水量为10~30l/min,个别从断层带或裂隙密集带涌出,涌出水量可达60~70l/min。据原勘测资料,在5#支洞的6+900m上段,岩石完整性相对较好,放空隧洞后,外水内渗现象亦微,岩石透水性很小,属微-极微透水岩体。洞身围岩处于构造控制网络渗透场中,其不

衬砌围岩不会在运行期产生漏水。6+900m后段,隧洞放空后,有部份地段外水内渗外,其余洞段无渗水现象。该洞段高于地下水位,运行期有内水外渗条件,由于洞段全部衬砌防止了内水外渗。

3.2.3 底板冲刷 从第一次隧洞检查以来,就发现隧洞底板有冲磨现象,且逐年增加,特别是2+800~3+200段以及不衬砌段的底板冲刷较为严重。1992年检查以来发现冲沟已有86处之多,沿线冲沟(槽)见表4。最大冲沟尺寸800cm×20cm×10cm~800cm×20cm×20cm(长×宽×深),最大冲深达40cm,

表4 隧洞沿线主要冲沟槽统计表

桩号	衬砌型式	衬厚(cm)	冲沟(槽)尺寸 (长×宽×深)cm	桩号	衬砌型式	衬厚(cm)	冲沟(槽)尺寸 (长×宽×深)cm
0+866	不		300×15×10	3+602	钢筋混凝土	35	300×100×15
1+415	混凝土	35	300×50×5	4+280	钢筋混凝土	35	150×20×10
1+655	喷		800×20×20	4+580	钢筋混凝土	35	300×30×20
1+820	混凝土	35	300×30×30	5+480	钢筋混凝土	35	100×50×25
1+830	混凝土	35	350×40×30	5+550	钢筋混凝土	35	100×40×25
1+840	混凝土	35	450×50×40	5+720	不衬		100×60×25
2+124	钢筋混凝土	35	300×50×20	5+916	不衬		200×60×15
3+110	钢筋混凝土	50	150×30×10	6+344	钢筋混凝土	35	500×30×5
3+158	钢筋混凝土	35	200×60×15	7+468	钢筋混凝土	35	500×50×10
3+300	钢筋混凝土	35	150×20×15				



一般冲沟处钢筋外露,1+700~1+900m 段底板冲刷最严重,混凝土底板已冲穿。1991年1月7日至20日停水期间,采用了500# 高强混凝土对其中三处冲沟进行了补强处理,合计补强长度28m,用混凝土3.9m<sup>3</sup>,经1992年枯期停水检查其效果很好,为隧洞底板补强积累了资料。

3.2.4 集石坑的运行 根据试验当隧洞水流速在2.53m/s时,水流能冲动直径为26.4cm的石块,但也发现最大方向长为40cm的石块当形状不太扁平时也能被水冲动。1983年以前没有对集石坑进行全面清理,自1982年7月听到卵石碰击水轮机叶片声音以后,停机潜水在尾水闸门槽中摸出φ5~φ25cm卵石60多块重约30kg,当时分析估计集石坑已淤满,但在1983年3月19日隧洞停水检查中,在桩号0+460~4+320m间发现卵石28块,1#、2#集石坑的后两室根本没淤满。从安全运行角度考虑,从1983年枯期停水检修开始。每年都对集石坑进行彻底的清理。根据近10年的资料,集石坑内主要淤积物为砂子、卵石、块石和木渣等。1#、2#集石坑第一室基本淤满,第二、三室只有半池淤积,2#集石坑的第四室几乎没有淤积,其主要淤积物是砂子。历年集石坑淤积情况见表5。

表5 历年集石坑淤积量统计表

年份 编号	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
1# (m <sup>3</sup> )	57.5	52.5	47.1	72.5	90.6	9.2	56.1	70.4	44.5	49.8
2# (m <sup>3</sup> )	62.5	59.2	58.9	67.5	110.9	91.1	179.1	172.9	98.6	189.2
主要淤积物	卵石 块石 沙				块石 木渣 沙	块石 木渣 沙	杂物 沙	杂物 沙	杂物 沙	杂物 沙

#### 4 隧洞运行检修情况小结

渔子溪水电站引水隧洞经过20年的运行,经历了1985年7月、1989年6月3日和1990年7月7日几次异常事故,但未发现危及电站安全运行的岩石失稳。不衬砌围岩总体是稳定的,在水流冲击、内外水压力作用和岩石应力释放之下,产生少量掉块是正常的,

设计时考虑用集石坑来解决。

根据17年检查资料和运行施工记录分析,不衬砌段岩石掉块趋于稳定且在逐年减少,掉块尺寸也在逐年变小,在今后运行中拟从以下几方面改进并开展工作。

1. 停机前三天机组负荷可以从第一天满负,第二天80%负荷,第三天30%的负荷,第四天停机再放空隧洞,以利隧洞和围岩应力逐渐释放,这样可减少掉块,同时对衬砌段混凝土受力也有一定好处。

2. 被冲刷的86处冲沟(坑、槽)应在近几年内逐步采取措施根据冲刷深度予以补强,以增加衬砌和围岩的整体受力减小过水断面糙率,增强对外水压力的承受能力,减少内外水外渗和内外水内渗的条件。

3. 严格按规程运行,避免卵石并减少木渣等污物进入隧洞,以增加集石坑集石衬砌段掉块的容积,减小集石坑部位处水的流速。

根据近10年集石坑清淤资料,只要首部枢纽运行正确,集石坑的淤积完全可以隔年清理一次,以减少检修时间,增加枯期发电量。

4. 闸首运行和厂房运行要进一步加强联系,改现在的一小时为半小时联系一次,随时调节水库水位,禁止隧洞被拉空和冲水过快这类事故的发现。

5. 恢复有关监测仪器,在现有基础上除对裂隙走向开展宽度进行宏观检查外,还应进行详细的微观检查,对那些渗水相对集中的部位,应结合裂缝情况进行全面的记录、分析及评价。

6. 加密隧洞内桩号标志牌进行定点观测。

7. 对集石坑的淤积进行淤积物的成份类别和泥沙颗粒的分析,分析隧洞引水和水库运行的关系。

8. 制定固定的检查格式和检查项目,根据《大坝安全检查实施细则》的要求进行分析。

(下转第96页)

(上接第 53 页)

下坝址土石坝坝体的填筑,按月平均 62.3 万 m<sup>3</sup>/月及 10.4 万 m<sup>3</sup>/(月 100m 坝长)的填筑强度,大坝工期为 68 个月,发电工期及工程完建工期与中坝址相同。但由于下坝址河谷仍属狭窄,两岸坡陡,施工上坝交通难度大,且受两岸溢洪道及大量地下工程进出口交通施工影响干扰大。同时,土石坝方案不仅施工场地规模相对较大,而且心墙防渗土料取自雷波县城附近的大片良田,施工征地问题相对突出。

综上所述,中坝址砼重力拱坝枢纽优于下坝址土石坝枢纽。即从枢纽布置及水工设计的难易程度表明,推选中坝址。

## 4 结 语

中坝址地形完整,河谷狭窄,岸坡陡峻,基岩裸露,地层平缓倾角仅 3°~5°,层间层内错动相对较弱,是修建坝高 300m 量级的砼拱坝及大型地下洞室群较为理想的坝址。在选坝阶段,重点研究了该坝址的砼重力拱坝方案枢纽,随着研究工作的不断深入,将开展双曲拱坝的研究及建基面的优化,以及分期发电方案的研究,将进一步显示出中坝址的优越性。

(收稿日期:19940730)

## Dam Site Selection of Xiluodu Waterpower Project on the Jinsha River

Wang Renkun

(Chengdu Hydroelectrical Investigation and Design Research Institute)

**Abstract** Xiluodu Waterpower Project is a large multi-purpose project with main purpose of power generation, and other functions of the project are silt arresting, flood control, log passing and navigation. It is the very important hydroelectric project to transmit electricity from West China to East China, to realize energy balance in China, and to make the most of Three Gorges Project. In recent years, a large numbers of geological investigation and designs have been conducted. The dam site of Xiluodu Waterpower Project was selected at exposed basalt area with steep slopes and straight river valley on the basis of comparison between topographical and geological conditions at dam area and dam site and arrangement of hydraulic structures.

**Key Words** Xiluodu Waterpower Project, selection of dam area, selection of dam site.



## 大渡河瀑布沟水电站初步设计通过审查

1994 年 6 月 16 日至 25 日,水利水电规划设计总院同四川省建委、计委在成都召开了大渡河瀑布沟水电站初步设计报告审查会。参加会议的有:电力部水农司等 46 个单位共 188 人。会议期间马麟副省长亲临会议指导,并作了重要讲话。代表听取了成都勘测设计研究院关于瀑布沟水电站初步设计的介绍,查勘了现场,并分专业组进行了讨论和审查。瀑布沟水电站是大渡河梯级开发中的骨干电站,位于四川省汉源、甘洛两县交界处,距成都约 200km。电站以发电为主,并兼有漂木、防洪等综合利用。最大坝高 186m,总库容 51.77 亿 m<sup>3</sup>,装机 3 300MW,保证出力 926MW,年发电量 145.8 亿 kW·h。电站地理位置适中,靠近负荷中心,交通便利,水库具有较好的调节性能,可以改善电力系统的运行,使下游已建的龚嘴水电站和铜街子水电站增加保证出力 215MW,年电量 7.8 亿 kW·h,并能改善下游梯级电站的泥沙淤积问题。瀑布沟水电站虽水库淹没稍大,但单位千瓦的淹没指标不高,且技术经济指标优越。为促进四川省经济的持续发展,满足四川电力工业在下世纪初负荷增长的要求,该电站是继二滩水电站之后,近期急待开发、条件成熟、唯一较好的大型电源点。

自 1983 年以来,成都勘测设计研究院做了大量勘测设计科研工作,在 1988 年 12 月审查批准瀑布沟水电站可行性研究报告的基础上,对勘测、设计、科研工作又作了大量的补充优化,于 1993 年提出了瀑布沟水电站初步设计报告,会议认为该报告基础资料充实、方案比较全面、研究论证充分,其内容、深度满足初步设计要求,会议基本同意该报告。

(四川省电力工业局 何学民)