

大桥水库工程引水隧洞施工若干问题探讨

杨小林

(水利部四川水利水电勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 1996年度引水隧洞各工作面相继全面展开施工, 统计分析各工作面施工进尺指标, 结合实际情况, 及时总结本阶段工作, 提出其中存在的问题, 分析讨论并解决这些问题, 对优质高效建设大桥水库工程具有非常重要的技术经济意义。

关键词: 引水隧洞; 初期支护; 弱爆破; 开挖方法

中图分类号: TV 732.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)增-0091-04

1 概况

大桥水库工程发电引水隧洞总长 6 574.341 m, 为有压隧洞, 圆形断面, 洞径 5.1 m, 采用钢筋砼衬砌, 隧洞穿越的围岩主要为 III、IV、V₁、V₂ 类, 其中 IV~V 类围岩约占 70%。整条隧洞顶拱 120 范围进行回填灌浆, 对 IV、V 类围岩进行固结灌浆。衬砌砼为 250 号, 除 III 类围岩为 0.45 m 衬厚外, 其余均为 0.60 m 衬厚。引水隧洞共设 4 条支洞, 8 个工作面施工。

大桥水库工程位于高地震烈度区(地震设防烈度为 8.5 度), 工程地质条件复杂。引水隧洞等地下工程位于安宁河南北向区域断裂带之间, 距东支断裂带 1.8~2.5 km, 距西支断裂带 0.4~0.6 km。两断裂长度分别为 200 km 至 300 km 以上, 断裂破碎带宽达百余米至千余米, 其中东支断裂近期活动较显著。大桥水库隧洞围岩主要由斜长花岗岩、辉绿岩等坚硬岩石组成, 岩块湿抗压强度在 70 MPa 以上。

由于上述地质背景, 引水隧洞断裂极为发育, 岩体风化十分严重, 整体强度较低。岩体主要为碎裂结构、碎裂镶嵌结构, 而表面风化带和断裂发育地段则为散体结构。

2 引水隧洞不良地质地段初期支护(简称初支)与二次衬砌施工方案选择

2.1 方案选择

根据隧洞断面形状、地质条件、施工条件及工程工期, 本工程可选择以下几种施工方案:

(1) 初支边顶拱, 边顶拱二次衬砌跟进;

(2) 初支封闭(结构外设置仰拱), 边顶拱二次衬砌跟进;

(3) 初支封闭(结构外设置仰拱), 全断面二次衬砌跟进。

2.2 对上述三方案适用情况简要评述

对圆形衬砌断面, 地质条件较差, 开挖时间较长的情况, 国内外工程一般采用方案(1)。

方案(2), 下部开挖、仰拱设置及底拱石渣回填恢复运输通道后再继续上部开挖、支护及边顶拱衬砌等多种工序只能顺序作业, 且后期底拱衬砌前, 清渣量大, 工期长。经初步估算, 方案(2)比方案(1)工期增长近一倍, 发电工期滞后, 工程经济效益差, 可在对方案(1)初支改进后仍不适宜的个别地段考虑方案(2)。

方案(3)较方案(2), 工期更长, 资金投入更大, 在不适宜方案(2)的少数特殊地段可考虑方案(3)。

决策上述方案的依据:

(1) 参考国内外同类工程;

(2) 进行一定的理论分析计算供参考;

(3) 根据工程地质条件、水文地质条件、水工结构条件及施工条件, 通过观察和施工量测, 进行必要的信息反馈分析, 改进初支及衬砌方案, 确保工程施工安全。

2.3 方案(1)的施工实践

(1) 本工程引水隧洞共 8 个施工工作面, 除 3 号支洞上游工作面(以下简称 3_上号)特差的 f₂₂₆ 外, 经实践证明, 只要保证工程施工质量, 采用方案(1)是安全可靠的。

(2) 3_上号施工量测成果及初步分析。

对长 85 m 边顶拱二次衬砌一个多月时间的施工量测, 顶拱下沉量累计 15.67 mm, 周边收敛值 2.9 mm, 平均收敛速率递减。

当前施工量测表明:

周边收敛值 2.9 mm, 小于结构允许挠度, 说明现有结构安全;

二次边顶拱衬砌后 7~10 d 内完成总变形量的 50% 以上;

拱顶下沉及周边收敛变化率递减, 趋于稳定。量测仍继续进行, 二次衬砌还将接受较长时期的考验。

(3) 3_上 号采用方案(1)存在的问题

初支变形过大, 侵入永久衬砌断面。

根据 3_上 号地质条件, 分析初支受力及位移情况, 通过近一年的施工实践, 为抑制初支过大变形, 应对现有初支作如下改进:

开挖期浇筑初支两侧附加砣, 以增加初支与地基接触面积。

设置垂直于墙脚位移的锁脚锚杆($L = 3.5$ m, $\varnothing 25$ mm), 有利于阻止墙脚位移(包括水平向内及竖直向下的位移分量)。

现初支边墙均为直墙线型, 为改善墙脚以上 2~3 m 最不利的应力分布情况, 应改直墙为曲墙线型。

2.4 对 3_上 号实施方案(1)的可靠性进一步探讨

已揭露 3_上 号地质条件显示, 围岩具有一定的膨胀性, 而膨胀压力与岩体成分、性质、含水情况及围岩应力状态有关。由于膨胀过程及引起膨胀现象的因素复杂, 很难定量计算实际的膨胀压力, 因此, 对 3_上 号二次衬砌结构不能用一般散体结构地层的有关理论进行。

为监测二次衬砌的安全性, 有效可行的措施为: 除进行现有 A 项施工量测(拱顶下沉和洞内周边收敛)外, 还应增设 B 项量测(其内容: 在初支与围岩间、初支与二次衬砌间埋设压力盒, 在初支格栅拱受力主筋上安设钢筋计), 以监测衬砌应力分布情况, 将施工量测信息反馈设计, 验算二次边顶拱衬砌在施工期的安全性, 决策合理的施工方案, 而以上量测内容均属合同范围内。

3 研究开挖施工方法——预防和减少塌方

3.1 充分考虑掌子面及其附近区域的自稳能力, 选择合理的开挖程序

地下工程开挖施工, 首先根据不同的工程地质条件, 确定相适应的开挖程序, 以确保安全, 加快进度。

(1) 对 III 类围岩地段, 为充分发挥机械设备的生产能力, 加快进度, 在控制好钻爆的前提下, 应优选

全断面法开挖。

(2) 对 IV 类围岩地段, 岩体呈散块状或碎裂状结构, 岩块一般小于 40 cm, 开挖程序宜采用正台阶施工, 台阶长度不宜小于 3 m。

(3) 对需钻爆法开挖的 V 类围岩地段, 应采用台阶法施工, 台阶长度不宜小于 5 m, 上台阶高度宜小于 2.5 m, 下台阶采用再分层或错口开挖方式。对不需钻爆开挖的 V 类围岩, 上台阶宜采用沿拱圈环形开挖, 保留核心(如 3_上 号开挖方式), 下台阶分两层开挖。

参加本工程引水隧洞施工的企业, 按其施工习惯, 在开挖程序上存在两种情况。其一, 施工 III-2 标的铁道部隧道工程局多采用台阶法开挖; 其二, 施工 I、IV 标的水电十局二公司多采用全断面法开挖。对 III-1 标开挖程序, 从导流洞开挖至今, 其开挖习惯与十局类同。

经较长时期施工实践证明, 对 IV、V 类围岩, 后者在开挖出渣后, 进行下一新的循环时, 往往面临的是全断面临空的掌子面, 跨度达 6.7 m。在掌子面拱顶最高处, 其空间三向应力分布极为不利, 该处易出现掉块, 破坏洞周临界平衡, 乃至发展为危害极大的大塌方, 如(1)4月24日 1_下 号出现在引 1+123 m 处大塌方; (2)12月相继发生在进口工作面 1_下 号及 4_上 号较大塌方, 除受地下水影响外, 主要原因应属全断面开挖的结果。

而前者台阶法施工, 有效地改善了掌子面及其附近区域的应力状态, 即使掌子面上出现塌方, 由于上导坑较长, 且断面小, 塌方体进入上导坑后很快以石碴的自然休止角而趋于临界平衡, 抑止塌方继续发展, 有效地避免大塌方。在 2_下 号施工, 由于开挖循环进尺过大, 钻爆及初支质量欠佳, 曾出现几次小塌方, 但只用几天即处理完毕。2_上 号采用一段时间全断面开挖的实践证明, 塌方多, 进尺慢, 现调整为台阶法施工。在引水隧洞开挖难度极大的 3_上 号采用上台阶环形开挖, 中心留核部, 有效阻止掌子面后方土体失稳或富水涌出, 3_上 号主洞施工至今未出现因开挖工艺不当的塌方, 与此相反, 1_下 号两次较大塌方处理时间共计四个月之多, 占全年施工期 1/3 以上。

3.2 研究适应本工程地质特点的合理的“短进尺”

地下工程开挖施工, 在确定开挖程序后, 应重视对开挖循环进尺的控制, 做到既安全施工, 又满足工程进度要求。

经本工程引水隧洞各工作面的施工实践, 并参照国内外大量工程实践, 建议开挖循环进尺如下: III

类围岩 2.5~2.7 m; IV类围岩 1.2~1.4 m; V类围岩 0.6~0.8 m, 以实现真正的“短进尺, 多循环”。

3.3 研究实施合理的“弱爆破”

对不同地质条件的隧洞进行开挖施工, 第一道最关键的工序即为钻孔爆破, 选择合理的钻爆参数, 可减轻对围岩的扰动, 达到要求的较规则的开挖轮廓, 从而减轻初支工作量, 并有效地发挥初支作用。

鉴于引水隧洞各个工作面开挖, 顶拱成型差, 塌方频繁, 安全隐患大, 影响工程进度, 且后期回填量大。应根据本工程的地质特点, 重视对钻孔爆破的研究工作, 施工企业生产管理与技术脱节, 提高施工爆破人员素质及其工作积极性, 纠正钻孔、装药工人及民工操作的随意性, 提高钻爆水平。

针对不同地质条件作钻爆效果分析后, 引水隧洞各开挖工作面钻爆施工作如下几点改进:

(1) 充分考虑拱圈的夹制作用, 缩小周边孔间距, IV类围岩周边孔距宜控制在 40~45 cm 以内, V类围岩周边孔距宜控制在 35 cm 左右。必要时试验在两周边装药孔间设置不装药的导向孔, 以增加光爆孔临空面, 减小单孔装药量, 降低炸药单耗。

(2) 重视二圈眼布设, 使光爆层厚度相对均一, 周边孔具有一致的抵抗线, 并控制周边孔密集系数 e/w 小于 0.8。

(3) 周边孔宜用低威力, 低猛度, 低爆速, 低密度的小直径(25 cm)的专用光爆炸药。

(4) 试验研究孔内装药结构及填塞长度。

(5) 设计合理的起爆网络。目前国内厂家生产的非电毫秒雷管一般可用到 15 段, 在此范围内可灵活调整起爆顺序, 对 IV、V 类围岩采用台阶开挖, 上部断面小, 周边孔不宜齐发起爆, 应分 2~3 次起爆, 以减小单响药量, 切实做到减轻对围岩的扰动, 实施真正的“弱爆破”。

由上可知, 针对不同的工程地质条件及施工条件确定合理的开挖程序、循环进尺及钻爆设计, 可有效地减轻对围岩的扰动, 并有利于围岩应力分布, 对防止塌方, 安全开挖, 加快进度具有巨大的现实意义。

4 对初期支护体系的研讨——对新奥法的再认识

众所周知, 新奥法与传统施工方法的根本区别在于它把围岩看成主要承载结构, 一切措施都是围绕着改善围岩, 充分发挥围岩的承载能力来拟定和实施。

(1) 针对 V 类围岩的不同特点, 选择采用超前注浆加固围岩(即注浆管棚施工), 管棚参数: 管径 $\Phi 32$ mm, 间距 @ 30 cm, 外插角 $\alpha = 14^\circ \sim 18^\circ$; 支护范围顶拱 180° ; 管壁钻 $\Phi 6$ mm, @ 15 cm \times 15 cm 出浆孔。

(2) 对较差的 V 类围岩地段, 其初支体系前面已有论述, 这里不再重复。

(3) 对 IV 类围岩采取喷、锚、挂网(或喷钢纤维砼)支护体系。其特点: 紧贴围岩; 主动调整围岩应力; 与围岩共同承载; 能适应围岩变形; 具有薄壁柔性。

(4) 根据本工程“硬、脆、碎”的地质特点, 试验研究喷射特种砼。

试验研究喷射钢纤维砼。

喷砼中掺入少量的钢纤维就可使其抗拉、抗剪及抗弯强度提高 1~2 倍, 而韧性提高几十倍, 因此, 在国内外工程中得到广泛应用, 并收到明显的技术经济效果。

钢纤维采用规格: 用普通碳素钢丝切断而成, 其直径 0.3~0.4 mm, 长度为 20~50 mm, 掺量为 1%~2%, 每 m^3 砼用量一般为 35~75 kg。实施时, 只要拌和均匀, 不出现钢纤维成团, 极少出现堵管现象, 且砼回弹率显著降低(小于 8%)。

爆破后, 及时喷射钢纤维砼, 以代替挂网喷射素砼, 在其保护下再实施锚杆、出碴等工序操作时, 安全性大大提高, 在国内广东——深圳雁田输水隧洞等特差地质条件下使用, 取得满意效果。

试验研究喷射硅粉砼。

喷砼中掺入一定数量的硅粉, 可起到降弹、减少水泥用量和提高喷射砼强度的作用。掺量为 3%~10% 时, 砼拌和物的粘度显著增加, 回弹率明显降低, 顶拱喷射小于 8%, 边墙一般小于 5%, 强度增加一倍。

(5) 主洞初支实践小结。

引水隧洞主洞 8 个开挖工作面, I、IV 标主要以喷锚、挂网为主, 对 IV 类围岩既经济也快速。

III-1、III-2 标支护体系以格栅拱为主。在 IV 类围岩地质, 开挖轮廓不规则, 而支护仍采用非常规则的圆形格栅拱, 拱上空间大(一般 20 cm~3.0 m 不等)。格栅拱上形成自然塌落拱形状, 在上台阶掌子面爆破振动及下台阶开挖时, 掌子面后一定范围应力再次释放, 加之初支施工质量较差, 易出现回头塌方现象, 在引水隧洞各工作面曾多次出现(特别是 2_下号)。

为此, 施工本工程引水隧洞各标的承包商加强了对 V 类围岩支护的投入, 重新认识 IV 类围岩(对 III

标)初期支护体系,严格初支施工质量,并研究试验适合本工程地质特点的新技术、新工艺,做到经济技术合理。

5 关于引水隧洞地下水治理

本工程引水隧洞水文地质特点:埋深大,岩石破碎,地下水位高,揭穿隔水带后渗水流量大,且有压动水,如发生在11、12月的1_下号、3_下号、4_上号,在3_下号采用薄壁矩形堰实测地下涌水量峰值可达170 m³/h。

根据3_下号、1_下号及3_上号施工实践,作如下几点小结:

5.1 预注浆加固、堵水措施

通常洞内用预注浆的方法来加固围岩和堵水均特别突出一个“预”字。若隧洞开挖后,产生变形、塌方并涌出地下水,破坏了原有力学平衡,地下水带走原裂隙缝中充填物,疏通水流通道,加大围岩变形,如此恶性循环,造成大量涌水塌方,此时再注浆加固和堵水,难度极大,效果也不理想,这方面的经验和教训在国内外均不少。在国内大瑶山隧道9号断层(宽度达465 m)前期虽注入水泥、水玻璃数百吨,效果不理想,就是没有突出预注浆加固堵水的“预”字。本工程1_下号引1+464 m处涌水塌方,第一次采用注浆失败也是如此。而对3号支洞上、下游工作面采用浅孔双液预注浆取得满意效果。

5.2 排水设备及集水坑设置

(1)对引水隧洞排水设备及集水坑的设置,合同文件有详尽的要求。对向下游开挖的反坡工作面(1_下号主洞独头进占达1631 m)更应设置足够的抽水设备并考虑适量备用。

(2)集水坑应有足够容量,并设置盖板维护,防止水泵空转烧坏马达,如1_下号曾多次烧坏电机。集水坑容量应不小于1.5 m(长)×1.0 m(宽)×1.2 m(深)。

5.3 有关地下水的几点教训

(1)应严格控制支洞及主洞底板高程,实现顺坡自流排水。

3号支洞在进主洞前底板高程降低,使得主洞地下渗水及施工废水不能自流排出,主洞施工工期长达三年之多,抽水费用急剧增加。另一方面,主洞三叉口处跨度大,地质条件差,长期受地下水侵蚀,给三叉口安全带来威胁;同时,过低的底板造成二次衬砌拱脚临空,加剧了二次衬砌的整体下沉。

与此相反,1_下号底板过高,一方面加大了边顶拱衬砌墙脚清基工作量,另一方面随着底板抬高,造成钢模台车下净高不足,影响正常运输。

2号及4_上号由于支洞及主洞底坡控制较好,12月出现较大地下渗水,也全靠自流排出。

(2)为避免大塌方及大量涌水突发,除必须采用前述合理施工方法外,建议引进水平钻机作超前方地质探测,以探明掌子面前方地质构造、地下水涌水量、水压力、膨胀性地层等。

6 有关施工设备

目前,1号、2号、3号支洞工作面开挖及砼浇筑运输设备均严重不足,且完好率差,出碴及砼浇筑工序时间太长,制约工程施工进度,影响砼浇筑质量。通过计算,考虑施工程序安排,各支洞应配置主要运输设备最小数量应为:电瓶车6台,8 m³棱矿车6台,砼输送泵2台,砼搅拌运输车4台。

7 结束语

近年来,本工程引水隧洞的监理工作表明,要保证工程质量,按FIDIC条款要求,工程师必须有足够的施工经验,熟悉合同,督促承包商按合同的承诺投入足够的人力和施工设备,对影响工程质量、进度及安全的不恰当的施工工艺应及时发出指示予以纠正。为此,特写此文,文中观点谬误难免,企盼同仁们不吝批评指正。

作者简介:

杨小林(1970年-),男,四川大邑人,四川省水利水电勘测设计研究院,副总监理工程师,工程师,学士,在职研究生,从事水电工程施工组织设计。

省学会召开“’99省水电学会秘书长工作会议”

1999年11月15~17日,省水电学会在成都召开了“’99省水电学会秘书长工作会议”,会议由省学会副理事长兼秘书长樊天龙主持,他首先扼要总结了省水电学会一年来所取得的成就和开展的活动,并向与会的秘书长表示感谢,希望大家再接再厉,争取把明年的工作做得更好。

出席会议的各专工委秘书长分别就各自开展的工作进行了汇

报,并将各自2000年的工作计划提交会议研究。通过各位秘书长的工作汇报,使大家看到了蓬勃发展、充满活力的水电学会,正在步入新的高度,秘书长们也为自己所肩负的责任而感到自豪,纷纷表示要将自己的工作做好,为迎接新世纪的到来做出成绩,会议自始至终充满激情,热烈而有序。

在完成各项议程后,会议圆满结束。本刊记者 李燕辉