

宁波市白溪水库引水工程 输水隧洞主要工程地质问题研究

韦传思

(福建省水利水电勘测设计研究院, 福建 福州 350001)

摘要: 该文通过对宁波市白溪水库引水工程输水隧洞区的岩层展布、构造断裂和构造应力场、地下水赋存运移条件的分析, 研究长隧洞建设中存在的岩爆、涌水、塌方等重大工程地质问题, 对隧洞线的方案选择和优化设计及施工方案选择、不良地质地段的工程地质灾害防治与预测提供科学依据。

关键词: 输水隧洞; 岩爆; 围岩稳定; 涌水

中图分类号: TV554 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-3011(2005)02-0051-02

1 工程概况

宁波市白溪水库引水工程是宁海县白溪水库向宁波市供水的一项输水工程, 输水线路南起白溪水库电站尾水池, 途经宁海、奉化、鄞县, 至东钱湖水厂和北仑水厂, 总长 106.218km, 包括隧洞 9 段, 共 99.848km, 管道 10 段, 共 6.370km。隧洞洞径 4.0m, 管道管径 2.6m, 最大供水能力 70 万 t/d, 年输水量 1.7 亿 m³。

2 地质概况

工程区处于浙东沿海火山岩带北段, 大地构造位置处于华南地槽褶皱系浙东南褶皱带的丽水—宁波隆起带东侧, 南端临近温州—临海拗陷带的北边。

工程区分布最广的地层为上侏罗统, 岩性主要为火山岩, 有潜火山岩、熔结凝灰岩、凝灰熔岩、沉凝灰岩、流纹岩和凝灰质粉砂岩等; 其次为下白垩统地层, 岩性有凝灰质砾岩、砂岩、粉砂岩及沉凝灰岩互层。此外还有侵入岩, 包括二长花岗岩、钾长花岗岩和花岗斑岩等。局部地区有少量安山岩、辉绿岩和玻基辉橄岩。侵入岩多为燕山期产物, 安山岩主要为喜山期火山活动产物。

工程区内断裂较为发育, 主要有北北东向、北东向和北西向三组断裂, 少量东西向断裂。北北东向断裂主要有岔路—仇家断裂 (F1)、白溪—深圳断裂 (F2)、久峰—白杜断裂 (F3)、横溪断裂 (F4)、许家—白石庙断裂 (F6)、上山坑—五乡断裂 (F5), 组成区域性温州—镇海断裂带的北段, 其中 F1、F2、F3 和 F6 为主干断裂。北东向断裂主要有尚桥头—柴楼断裂 (F7)、牛荷坑—久峰山断裂 (F8)、山隍岭断裂, 为区域性丽水—奉化断裂带北东段, 其中 F7 为主干断裂。北西向断裂主要有洞口庙断裂、牛荷坑断裂、横溪酒

埕岩断裂 (F12)、韩岭断裂 (F13) 和东吴—岙里断裂 (F14), 属于上述北北东向和北东向两条区域性断裂的配套构造。

工程区地形切割强烈, 以中低山和丘陵为主要地貌单元, 河流和冲沟发育。地层岩性以上侏罗统火山岩为主, 岩体中断裂构造发育。地下水赋存在块状和层状岩体的构造裂隙和断层破碎带中, 主要接受大气降水补给, 向沟谷和盆地汇集, 排泄于河流。地表泉点一般出现在北西向断裂和北北东向断裂和旁侧羽状裂隙中, 常见泉流量 0.1L/s~0.5L/s。

3 区域地质构造稳定性问题

3.1 区域地震地质环境

工程区位于扬子准地台和华南褶皱系之分界线南侧华南褶皱系浙东南褶皱带的丽水—宁波隆起带内。区内断裂构造发育, 规模一般较大, 不少具深断裂性质, 形成和演化历史十分复杂, 对沉积建造和岩浆活动有一定的控制作用。

工程场地所经地段的地震活动性相对较弱, 地震危险性主要来自中远场强震活动的影响。近 500 年遭受过烈度为 IV 度以上的影响共 13 次, 最大影响烈度为 V 度。

工程场地所经地段属地质构造相对稳定区, 地质构造运动渐趋缓和。新构造运动以大面积间歇性升降运动为总体特征, 在整体抬升的背景上, 沿断裂发生差异升降运动, 使夷平面解体并发生向东北方向倾斜。

3.2 现代构造应力场

根据地震部门研究成果, 工程场地最大主应力方向为北西西~南东东方向, 基本垂直于区域构造中的主要断裂走向。进水口至洞口庙水库隧洞段走向北北东向, 与最大主应力方向垂直, 使隧洞围岩处于水平挤压状态; 洞口庙水库至牛荷坑隧洞段走向北东东向, 最大主应力方向交角 40°~50°, 使隧洞围岩处于左行压扭状态; 牛荷坑至大契山隧洞

段走向近东西向,与最大主应力方向交角 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,使隧洞围岩处于右行压扭状态。因此,隧洞围岩处于现代构造应力场产生的水平挤压应力作用下,对隧洞围岩稳定不利。

3.3 工程区主要断裂构造及其活动性

温州—镇海断裂带处于布格重力异常的大型梯度带上,长约320km,切割深度32km~34km,控制了白垩纪盆地形成和发展,并切割燕山晚期花岗岩体。工程区内该断裂带长70km,宽10km~15km,由4条主要断裂组成,宁海、奉化境内的输水隧洞线与主要断裂平行和斜交。岔路—仇家断裂在第四纪初活动过,第四纪晚期坡积物未错动,断层泥热释光年龄为 (180.09 ± 15.31) 千年,说明中更新世晚期曾活动过,晚更新世以来未再活动。白溪—深圳断裂经白溪、深圳、牛荷坑至宁波盆地,长46km,宽10m~25m,在深圳南溪有温泉出露,断层泥热释光年龄为 (180.59 ± 8.97) 千年,说明在早、中更新世活动过,但未见错动覆盖在断层上的坡积物,说明晚更新世以来未有活动。久峰山—白杜断裂,长15km,宽10m~15m,断层泥热释光年龄为 (167.31 ± 14.22) 千年,说明在中更新世晚期有过活动,但未见错断一级阶地的迹象,说明晚更新世以来未再有活动。取断层带样对石英颗粒做形貌分析表明,横溪断裂错断燕山晚期花岗岩体活动时代为早更新世。覆盖在断裂之上的砂层取样测试,热释光年龄为 (42.93 ± 3.65) 千年,说明晚更新世以来未再活动。

丽水—奉化断裂带在重力图上显示为一系列正常异常呈串珠状排列,长度215km,控制了白垩纪盆地形成发展和燕山晚期花岗岩体分布。工程区内沿奉化尚桥头、鄞县横溪、北仑新路水库一带展布,长度大于50km,由一条主干断裂和两条旁侧断裂组成。尚桥头—紫楼断裂沿宁波平原东南边经柴楼、新路水库西侧进入大契平原,长约50km,宽5m~20m。在新路水库西侧断裂中取断层泥样品测试,热释光年龄为21.8万年;在白杜河头村取断层泥样品测试,热释光年龄为 (96.92 ± 8.24) 千年,说明中更新世晚期有过活动。但在尚桥头一带,上覆上更新统冲洪积阶地无错断现象,阶地样品热释光年龄为 (25.42 ± 2.16) 千年,说明晚更新世以来未再活动。

4 隧洞围岩岩爆问题

岩爆是深埋隧洞的主要工程地质问题,严重影响隧洞的施工安全。岩爆发生的基本条件是脆性围岩、埋深较大和高地应力。

引水隧洞沿线围岩为熔结凝灰岩和流纹斑岩,占隧洞围岩总长度的90%。岩石致密坚硬,具备发生岩爆的岩性条件。

隧洞沿线埋深大于300m的深埋洞段共13段,累计长8470m。其中埋深400m~500m的洞段共5段,累计长1800m;埋深大于500m的隧洞1段,长度140m。这些埋深较大的洞段山体雄伟,地势陡峭,河谷深切,具备发生岩爆

的埋深条件。

高地应力是隧洞围岩发生岩爆的另一个重要条件。根据国内外隧洞工程经验,隧洞埋深增大,地应力必定增高。本工程虽无实测地应力资料,但隧洞围岩处于现代构造应力场的最大水平主压应力中,与埋深较大的隧洞上覆岩体自重应力叠加,加上隧洞开挖过程强烈的爆破对围岩的扰动影响,这些深埋洞段都有发生岩爆的可能,开挖过程应予以重视。

5 隧洞围岩稳定问题

隧洞沿线断层较发育,共查明断层206条,主要有北北东向、北东向和北西向三组。断层带宽一般1m~3m,部分4m~6m,有6条断层宽达10m~25m。大部分断层与隧洞线呈大角度相交,有11条断层与隧洞线呈小角度相交。断层破碎带岩体破碎~极破碎,胶结程度低,结构松散,加上地下水的的作用,围岩不稳定~极不稳定。隧洞开挖过程中宜采用水平钻机结合工程物理探测方法,加强断层带性状特征预测预报,以便及时采取有效的开挖方法和防塌排水措施。

隧洞沿线穿越规模较大的冲沟有田前、梁皇、酒埭岩、大河头等27条,低洼垭口有山隍岭、洪桥、彭家池和福泉山等4处,隧洞进出口段、过冲沟和低洼垭口段埋深小于40m的隧洞长共5490m。这些洞段埋深浅,围岩风化强烈,岩体结构松散,围岩不稳定~极不稳定。这些长距离的低洼谷地和隧洞浅埋地段常是断裂或其它软弱结构面发育地段。因此,洞线方案优化选定之后,除对断层带加强预测外,应对隧洞施工方法(钻爆法、顶管法、盾构法)和防护加固措施(超前锚杆、管棚支护、超前排水减压、洞顶围岩固结灌浆等)进行系统研究和比选。

6 隧洞涌水问题

隧洞线靠山脊东南侧基本傍山布置,地下水汇水面积大,多段隧洞高程低于地下水排泄基准面。隧洞围岩主要为熔结凝灰岩和流纹岩,岩石致密块状,透水性弱~极微。隧洞围岩中地下水主要为基岩裂隙水,岩体中裂隙发育,但大多数短小闭合,连通性差,赋存的地下水较贫乏。

隧洞开挖相当于地下开凿一条集水渠,隧洞沿线穿越十多条北西向断裂和近东西向断裂,与北北东~北东向断裂斜交、紧邻。这些断裂有一定规模的破碎带,胶结较差,结构较松散,往往赋存构造裂隙承压水。隧洞开挖将破坏承压水的水力平衡,在静水压力作用下,地下水将以隧洞为排泄通道产生涌水现象。洞挖过程中的大涌水常是隧洞大塌方、冒顶的诱导因素,也会引起隧洞线邻近地带地下水枯竭或水位下降等环境工程地质问题。为此应研究堵漏或排水等处理措施,防塌先治水。

7 结语

以上区域地质历史背景分析表明:宁波市白溪水库引水工程输水隧洞处在工程地质、水文地质极为复杂地段,存在洞挖时岩爆、围岩崩塌冒顶、隧洞涌水、区域水文地质环境改变或恶化等环境工程地质问题。本着“坏(下转第54页)

表1 用电压表直接测量结果

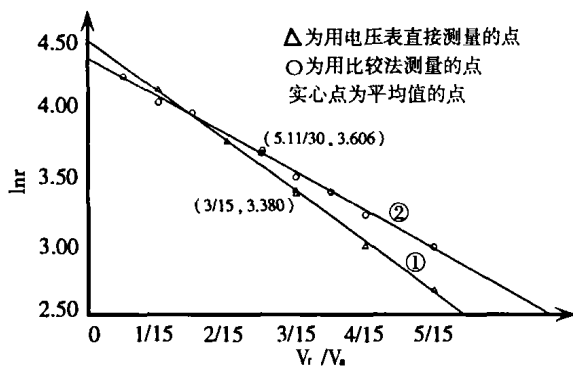
V_r (V)	r (mm)								\bar{r} (mm)	σ (mm)	$\sigma_{\bar{r}}$ (mm)	$\ln r$	V_r/V_*
	1	2	3	4	5	6	7	8					
0.5	62.9	63.0	64.0	62.2	62.2	60.5	60.8	61.4	62.1	1.1	0.4	4.129	1/15
1.0	42.7	43.5	43.5	42.5	42.2	40.9	42.2	41.5	42.4	0.90	0.3	3.747	2/15
1.5	28.2	29.0	29.1	29.0	30.0	28.3	28.5	29.3	28.9	0.59	0.2	3.365	3/15
2.0	20.2	19.4	20.0	20.0	20.5	20.4	19.8	19.5	20.0	0.74	0.3	2.994	4/15
2.5	13.0	16.0	15.0	14.8	14.8	15.0	13.0	14.5	14.5	1.0	0.4	2.675	5/15

$$\bar{\ln r} = 3.380, \bar{V}_r/\bar{V}_* = 3/15$$

表2 用比较法电路测量结果

V_r (V)	r (mm)								\bar{r} (mm)	σ (mm)	$\sigma_{\bar{r}}$ (mm)	$\ln r$	V_r/V_*
	1	2	3	4	5	6	7	8					
0.25	68.0	67.2	66.3	67.3	68.2	67.0	67.5	67.0	67.3	0.60	0.2	4.209	1/30
0.5	57.6	56.8	56.1	57.0	58.0	57.7	58.0	58.0	57.4	0.70	0.3	4.050	2/30
0.75	49.2	49.0	48.7	48.8	50.0	49.5	49.6	50.0	49.4	0.51	0.2	3.899	3/30
1.0	43.6	42.2	42.0	42.3	43.5	43.0	43.5	44.5	43.1	0.80	0.3	3.763	4/30
1.25	37.0	35.6	36.0	36.5	38.4	40.0	39.0	38.0	37.6	1.55	0.5	3.627	5/30
1.5	31.5	31.4	31.0	32.0	34.0	35.6	34.2	34.0	33.0	1.69	0.6	3.495	6/30
1.75	27.0	26.5	25.6	27.5	29.2	30.5	29.5	28.2	28.0	1.65	0.6	3.332	7/30
2.0	23.5	22.7	23.0	24.0	26.1	26.5	25.6	25.5	24.6	1.48	0.5	3.203	8/30
2.5	18.0	18.0	17.8	18.5	20.5	21.6	20.5	20.0	19.4	1.46	0.5	2.963	10/30

$$\bar{\ln r} = 3.606, \bar{V}_r/\bar{V}_* = 5.11/30$$

图4 $\ln r - V_r/V_*$

(7) 米尺。

2.3 实验数据记录

(1) 用游标卡尺测得外极板直径 $2R_b = 149.96\text{mm}$, 则 $R_b = 74.98\text{mm}$

(2) 测出 $V_r = 0.25\text{V}$ 、 0.5V 、 0.75V 、 1.0V 、 1.25V 、 1.5V 、 1.75V 、 2.0V 、 2.5V 所对应的点。

(3) 测出各 V_r 值对应的点到圆心的距离 r 。

(4) 计算 $\ln r$ 、 V_r/V_* ($V_* = 7.5\text{V}$)。

用电压表直接测量结果如表1所示, 用比较法电路测量结果如表2所示(表1、表2中 σ 和 $\sigma_{\bar{r}}$ 分别为标准偏差和平均值的标准偏差)。

2.4 实验数据处理

由理论公式 $r = R_b (R_*/R_b)^{V_r/V_*}$ 可得:

$$\ln r = \ln R_b + (\ln (R_*/R_b)) (V_r/V_*)$$

在坐标纸上作 $\ln r - V_r/V_*$, 如图4所示。

曲线①: 截距 $\xi_1 = \ln R_{b1} = 4.481$, 则 $R_{b1} = 88.32\text{mm}$ 。

曲线②: 截距 $\xi_2 = \ln R_{b2} = 4.328$, 则 $R_{b2} = 75.79\text{mm}$ 。

$\xi_0 = \ln R_b = 4.317$, 则 $(\xi_1 - \xi_0)/\xi_0 \times 100\% = 3.8\%$,

$(\xi_2 - \xi_0)/\xi_0 \times 100\% = 0.25\%$ 。

即用电压表直接测量与用比较法测量相对误差分别为3.8%和0.25%, 后者相对误差比前者减少15倍, 准确度得到了很大的提高。

3 结语

从上面分析可以看出, 用比较法电路进行模拟静电场实验, 操作简单, 能充分利用现有的仪器、设备, 并且将大大提高测量的准确度。在其它的模拟静电场实验中亦可使用。

参考文献

[1] 贾玉润, 王公治. 大学物理实验 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1987.

[2] 吴治隆, 毛正明. 电路分析及磁路 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1995.

[3] 周殿清. 大学物理实验 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.

作者简介: 吴舒萍(1966-), 女, 浙江温州人, 讲师, 武汉大学在读工程硕士研究生, 主要从事物理理论和实验教学与研究工作。

(上接第52页) 中选好”和防患于未然的思路, 建议:

(1) 综合分析, 权衡利弊, 合理选择洞线, 尽量减少不利的IV-V围岩地段。

(2) 洞线方案优化选择之后, 对洞挖的施工方法、支护加固措施、预测预报方法等进行专题或系统研究, 必要时进行典型地段开挖或支护试验。

作者简介: 韦传恩(1963-), 男, 福建福清人, 高级工程师, 从事水利水电工程地质勘察工作。