

水电站深埋长引水隧洞主要工程地质问题分析研究

彭仕雄

摘要:以硃碛水电站为例,系统分析了水电站深埋引水隧洞主要工程地质问题并进行了预测,可供其它隧道工程参考和借鉴。

关键词:深埋隧道;研究;预测

中图分类号:TV732.3;TV672 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-2184(1999)03-0022-03

Study on Major Engineering Geological Problems for Long Intake Tunnel with Thick Overburden in Hydropower Project

PENG Shi-xiong

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction
Engineering Company, CHIDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract:Taking the Qiaoqi Hydropower Project as an example, the major engineering geological problems for long intake tunnel with thick overburden in hydropower project is systematically analyzed and prediction is made to provide references for the other tunneling projects.

Key words:tunnel with thick overburden; study; prediction

1 概述

硃碛水电站是四川省宝兴河干流东河上的龙头水库工程,装机240MW,引水隧洞全长18km。沿线岩性繁多,有千枚岩、片岩、粗面岩、角闪岩、大理岩、灰岩、变质石英砂岩等,隧洞区通过的断裂有龙门山后山(赶羊沟)断裂和金汤弧形构造带的断层等,地层走向、断层均与洞线大角度相交。隧洞埋深普遍较大,大多在300m以上,最大可达1300m。因此,对引水隧洞而言,必须研究断裂(断层)的活动性对隧洞的影响,在高地应力条件下坚硬岩石发生岩爆的可能以及软岩的变形破坏、地温、外水压力和放射性等一系列问题。

2 地温问题

地温的预测方法一般有物探测试大地热流值估算和利用勘探手段测温预测。硃碛水电站采用利用勘探手段预测地温。

据厂区深孔ZK6钻孔井温曲线表明,除孔深68m以上明显受气温影响,温度为10°~12℃外,68m以下受气温影响不明显,呈现正常增温现象,埋深100m处的实测地温12℃、285m处的实测地温15℃,计算出的地温梯度值约1.5℃左右。

由于隧洞区地形起伏不算大,仅有3条大支沟切割,加之断层活动性总体较低。一般情况而言,地温随深度的增加而增加,不太可能出现地热异常现象。国内外一些资料表明,高地温多出现在埋深1500~2000m以下^[1]。上述情况预测的洞室埋深最大处的地温仅30℃左右,温度不高。

3 有害气体及放射性预测

隧洞区岩性虽较多,但大多属变质岩类,千枚岩、片岩、大理岩、灰岩等透水性较弱,不是含煤、含油和富集放射性物源的地层,因此,需预测无超标的有害气体及放射性危害问题:得胜沟至厂区的粗面岩、粗面质集块岩属岩浆岩类,可能存在一定数量的放射性。根据厂区PD3平硐(硐深250m)进行的环境放射性测试成果资料预测有害气体CO、CO₂的浓度和环境γ辐射剂量不大,但环境放射性氡及其子体浓度随着深度增加有逐渐增高之势,其平衡当量浓度可能超标,在施工中须加强通风。

4 外水压力问题

根据坝、厂区平硐及钻孔资料,地下水位埋深大致相当于弱风化、弱卸荷岩体的下部,愈靠近谷底,地下水位愈接近于沟水或河水面,外水压力折减系数可结合各类岩体的透水性根据有关经验确定。

5 断层活动性问题

关于隧洞区主要断层的活动性。在区域地质基础上对通过的断裂进行概率分析,龙门山后山断裂带南西段的赶羊沟断裂具6.5级潜在地震危险性,但带内发生相当于6.5级地震引起大于0.5m地震断错的可遇年概率近 10^{-4} ,相当于重复间隔近万年量级;大于0.5m地震断错的可遇年概率近 0.2×10^{-3} ,相当于重复间隔近5千年量级。金汤弧形构造东翼断裂系,无论在其地质活动性和潜在地震断错危险性的强度和频度上,远低于龙门山断裂带,其仅存在震级不大于6.0级背景地震的潜在危险性。龙门山后山断裂带属晚更新世的活动断裂,具粘滑运动方式。地质、地震和地貌等方法评估,龙门山断裂带北东段(都江堰东北)的最大水平滑移率1~2mm/a,现代形变测量最大垂直滑移率小于1mm/a。由地质分析得知,龙门山断裂带南西段的五龙断裂和双石断裂滑移率更低,仅仅0.01~0.03mm/a;从基本地震地质环境角度分析,赶羊沟断裂的滑移率应属同一量级。因此,就地震风险设计而言,引水隧洞对断裂(断层)活动性可不作特殊考虑。

6 地应力问题

6.1 区域现今构造应力场特征

工程区的新构造运动表现为大面积整体性、间歇性抬升和强烈切割为主。区内现今应力场基本上继承了喜山运动晚期的构造应力场总体特征。根据工程区外围24次中强地震震源机制解,表明工程区及其外围地区,处于近水平的现代构造应力场中,主压应力轴方向NW~NWW向,三向应力状态属潜在走滑型。

主应力方向与隧洞区的岩层走向(NE)大角度相交,与其它一些实测资料表明的褶皱区岩体中最大主应力总体上保持与褶皱轴垂直的结果相一致。

6.2 岩体中的地应力场分布预测

通过大量实测地应力资料表明,地应力的大小除与埋深、地质构造有关外,还与岩性密切相关。一般而言,岩石越坚硬完整越易积聚能量,储藏较高的地应力,岩浆岩由高温高压的岩浆冷凝而成,岩体中地应力较高,最大、最小主应力差也最大;沉积岩为常温常压下的地表松散物经固结成岩作用而成,多为中等或软弱岩石,岩体中的地应力较低、最大、最小主应力差最小;变质岩则介于两者之间。朱焕春^[2]对国内外322组三大岩类的实测地应力随深度的分布作了统计分析,计算出变质岩区最大主应力场的一般规律为:

$$\sigma_1 = 0.021H + 8.44$$

式中 H——埋深(m)。

6.2.1 坚硬岩石中的地应力场分布特征

由前述已知,坚硬完整岩石往往易于储存较高的弹性应变能,据厂区PD3平硐埋深200m的1组空间地应力测试表明,最大主应力量级为17MPa,约为自重的3倍,压力管道深孔应力测试结果表明:地应力随深度增加而增加,局部有应力集中增高现象。因隧洞区岩石多属变质岩,在深部的地应力场分布总体应接近上述变质岩的统计规律,又据国标GB50218-94《工程岩体质量分级标准》中阐述的“埋深大于1000m,随着深度的增加,初始应力场逐渐趋向于静水压力分布,大于1500m以后,一般可按静水压力分布考虑”的原则对隧洞区地应力场进行预测,浅部以实测成果进行校正。

6.2.2 千枚岩等软弱岩石地应力场分布特征

该类岩石虽属变质岩,但岩性较软,片理、劈理较发育,易于消散应力,岩体以塑性变形为主。该区无实测地应力资料,据其它一些类似工程对比,岩体中的地应力可按自重考虑。

7 坚硬岩体的岩爆预测

采用苏联顿巴斯准则、巴顿判据分别进行判别对比,介绍如下:

(1) 苏联顿巴斯准则(对埋深400~1200m的坑道)。

当 $\sigma_z/\sigma_c > 0.45$ 时 岩体稳定性差,易发生

岩爆;

$\sigma_z/\sigma_c = 0.25 \sim 0.45$ 岩体中等稳定;

$\sigma_z/\sigma_c < 0.25$ 岩体稳定,不易发生

岩爆。

σ_z 为地应力场第一主应力; σ_c 为岩石单轴抗压强度。

(2) 巴顿判据,(见表1)。

表1 巴顿判据表

| σ_c/σ_1 | σ_t/σ_c | |
|---------------------|---------------------|------|
| 5~2.5 | 0.33~0.16 | 轻微岩爆 |
| <2.5 | <0.16 | 严重岩爆 |

注: σ_c 为岩石单轴抗压强度; σ_1 最大初始主应力, σ_t 岩石抗拉强度。

(3) 灰岩。

据我国灰岩地区经验,当围岩强度与最大主应力比值小于2.5时将发生强岩爆,小于5、大于2.5时有中等岩爆发生的可能。

根据上述提供的资料,可以给出各种岩爆判据下的临界应力值和临界深度。见表2。

表2 各类岩体发生岩爆的临界应力和临界深度表

| 岩石名称 | 顿巴斯准则 | | 巴顿判据 | |
|--------|--------------------------------|--------|------------------|-------------|
| | 临界应力值/MPa | 临界深度/m | 临界应力值/MPa | 临界深度/m |
| 变质石英砂岩 | 30~54 | 1030 | 24~48 24.2~50 | 660 |
| 角闪岩 | 32.5~58.5 | 1150 | 26~52 24~50 | 800 650 |
| 大理岩 | 21~38 | 310 | 18~36 15.2~31 | 220 170 |
| 粗面岩 | 30~54 | >1030 | 26~52 30~62.5 | 800 1030 |
| 灰岩 | 按我国经验:临界应力值18~36MPa,岩爆临界深度230m | | | |

从表2分析可以看出,顿巴斯准则判断的发生岩爆的临界应力值总体偏大,巴顿判据与后面分析的围岩稳定性临界应力值接近,故采用巴顿判据较为合适。隧洞区除大理岩、灰岩发生岩爆的深度较浅为200余m外,变质石英砂岩、粗面岩、角闪岩等发生岩爆的深度均在650m以上。

8 高地应力条件下的围岩稳定性

这里只探讨地应力对围岩的变形破坏稳定问题。

8.1 围岩变形破坏判据

采用围岩——强度应力判据。

即

$$S = \frac{R_c \cdot K_v}{\sigma_m}$$

式中 S——围岩强度应力比;

R_c ——岩石饱和单轴抗压强度, Mpa;

K_v ——岩体完整性系数;

σ_m ——围岩最大主应力, MPa。

对坚硬连续介质(或 I、II类围岩)。

当 $S > 4$ 围岩稳定;

$S = 2 \sim 4$ 时稳定性差;

$S < 2$ 时不稳定。

对中等坚硬岩石(片岩或III类围岩)。

当 $S < 2$ 时 围岩不稳定；

对软弱岩石(千枚岩或IV、V类围岩)。

当 $S < 1$ 时 围岩不稳定。

8.2 岩石抗压强度与岩层走向的关系

对片岩、千枚岩等软弱岩石,片理、层理发育,岩石强度具有明显的方向性,垂直片理和层理的强度最小,平行片理和层理的强度最大,若岩石强度和片理、层理走向的夹角(暂未考虑陡倾角影响)呈线性关系,则任一方向的岩石强度有下列关系式:

$$R = R_{\perp} + (R_{\parallel} - R_{\perp})\beta/90^{\circ}$$

式中 R_{\perp} ——为垂直片理和层理的强度;

R_{\parallel} ——平行片理和层理的强度;

β ——岩石强度和片理、层理走向的夹角。

利用围岩破坏判据及岩石强度资料,可以计算出各类岩体在地应力条件下的临界稳定应力和查地应力~埋深关系图可知临界深度。见表3。

表3 各类岩体临界稳定应力和临界深度表

| 岩性 | 应力比 $S=2 \sim 4$ | | 应力比 $S=2$ | | 应力比 $S=1$ | | 备注 |
|--------|------------------|--------|------------|--------|------------|--------|----------|
| | 临界稳定应力/MPa | 临界深度/m | 临界稳定应力/MPa | 临界深度/m | 临界稳定应力/MPa | 临界深度/m | |
| 变质石英砂岩 | 24~48 | 660 | | | | | 厂区 |
| 角闪岩 | 27.6~55.3 | 860 | | | | | 么堂子沟~挡巴沟 |
| 大理岩 | 19~37.8 | 250 | | | | | |
| 粗面岩 | 26~52 | 800 | | | | | 得胜沟~厂区 |
| 灰岩 | 18~36 | 220 | | | | | |
| 绢云千枚岩 | | | | | 8.7 | 320 | 得胜沟~厂区 |
| 炭质千枚岩 | | | | | 8.78 | 325 | 进水口~么堂子沟 |
| 千枚岩 | | | | | 11.1 | 410 | 么堂子沟~挡巴沟 |
| 方解石片岩 | | | 13.6 | 500 | | | |
| 石英片岩 | | | 22 | 430 | | | 得胜沟~厂区 |

从表3的计算成果可知,岩石产生变形破坏的深度与岩爆有一定的对应关系,坚硬岩石产生变形破坏的深度除大理岩、灰岩在200余m,其它均在660~800m以上,千枚岩等软岩发生变形破坏的深度在320m以下。施工中应结合具体情况采取不同的措施。特别指出的是,施工支洞洞轴线与岩层走向夹角较小,更易产生变形破坏,深度更浅。

9 结 语

(1)深埋隧洞的研究是较为复杂的,它需要施工的进一步论证,但对指导设计、施工是非常有益的。

(2)不同岩石中的地应力状态不尽相同,岩石的变形破坏形式各异,各洞段的工程地质问题亦不同,当在施工中采取相应的措施后,隧洞的施工开挖是可行的。

作者简介:彭仕雄,男,国家电力公司成勘院成都水利水电建设工程公司地质一处副处长,高级工程师,学士。

作者单位:国家电力公司成勘院成都水利水电建设工程公司,四川成都 610072

参考文献:

[1] 王贤能等.深埋长大隧道中地下水对地温异常的影响[J].地质灾害与环境保护,1996,(4).

[2] 朱焕春等.岩体地应力状态、影响因素及河谷地应力场的数值检验.第四届全国青年工程地质大会论文集[C].武汉:中国地质大学出版社,1997.352~358.

收稿日期:1999-06-16