

引汉济渭工程黄三段输水隧洞围岩变形分析

赵大洲

(工程设计院)

[摘要] 围岩变形是进行隧洞稳定性评估及衬砌结构设计的重要依据。通过数值计算,获取了黄三段输水隧洞初期支护后的围岩变形情况。计算结果显示采用设计的初期支护形式,可有效控制不良洞段的围岩变形,Ⅳ、Ⅴ类围岩最大收敛变形满足规范设计要求。根据变形计算结果,确定了黄三段隧洞Ⅳ、Ⅴ类围岩预留变形量。分析成果为黄三段输水隧洞设计提供了依据,分析方法可为相似工程提供参考。

[关键词] 引汉济渭工程 输水隧洞 变形 数值计算

1 引言

隧洞开挖后,原有天然应力平衡状态被破坏,引起一定范围内岩体中应力释放和重分布,在重新分布的应力作用下,围岩产生向洞内的变形,与此同时也会使围岩的物理力学性质恶化^[1-2]。初期支护可有效改善隧洞周边岩体的力学性能,控制围岩的变形。就水工隧洞工程设计而言,分析围岩变形主要有二个目的:一是评估初期支护设计方案的合理性;二是评估预留变形量以免开挖后围岩侵占隧洞净空。

本文采用数值分析方法,通过模拟引汉济渭黄三段输水隧洞的施工过程,获取了黄三段输水隧洞初期支护后的围岩变形情况,评估了初期支护方案的可行性,确定了黄三段隧洞Ⅳ、Ⅴ类围岩预留变形量,为黄三段输水隧洞设计提供了依据。

2 工程概况

陕西省引汉济渭工程是陕西省境内的一项大型跨流域调水工程,工程在陕西省陕南地区的汉江干流黄金峡和支流子午河分别修建水源工程黄金峡水利枢纽和三河口水利枢纽,通过穿越秦岭的超长输水隧洞将汉江流域水量调至陕西省关中地区渭河流域。秦岭输水隧洞进口位于黄金峡水利枢纽坝后左岸,出口位于陕西省关中周至县黑河右岸支流黄池

沟内。秦岭输水隧洞全长 98.264 km,由黄三段和越岭段组成,其中黄三段输水隧洞总长 16.481 km,隧洞设计流量 70 m³/s,纵比降 1/2500。

黄三段输水隧洞总长 16.481 km,位于南秦岭中段、汉江以北的中低山区,局部为中山区。输水隧洞埋深 34~567 m,埋深大于 300~500 m 洞线占总线路 41%。工程平面布置示意图见图 1。

工程区岩浆活动发育,变质作用复杂,主要为变质岩、侵入岩两大类,其分布受区域构造控制。另外沿山坡零星分布或沿河沟呈带状分布冲洪积、坡积、残积、崩积等第四系堆积物。

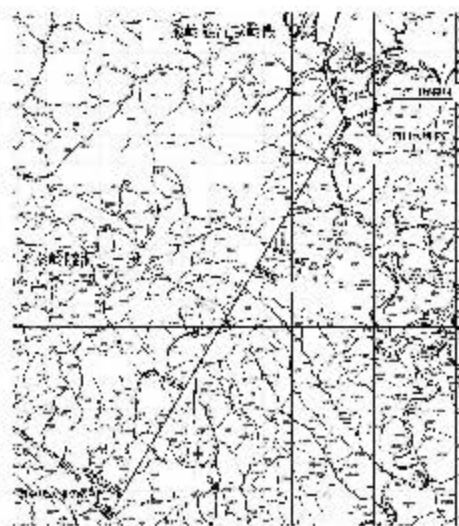


图1 工程平面布置示意图

作者简介:赵大洲(1970),男,河南省台前人,教授级高工,博士,从事地面及地下工程结构方面的设计与研究工作。

黄三段隧洞围岩以Ⅲ类为主,部分洞段为Ⅱ类围岩、Ⅳ类围岩,在断层带分布少量Ⅴ类围岩,沿线Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类及Ⅴ类围岩洞段累计长度分别占总线路的13.85%、63.58%、21.03%和1.55%。

地应力测试结果显示该区地应力场以水平向构造应力为主导,工程区现代构造应力场主压应力方向为NEE向或近东西向。实测埋深约500 m处的最大主应力(近水平)为24.08 MPa。

黄三段隧洞横断面形式为马蹄形,过水断面宽、高均为6.76 m。隧洞初期采用喷锚支护,其中Ⅳ、Ⅴ类围岩中喷护厚度为20 cm。二次衬砌为C25钢筋混凝土衬砌,其中Ⅳ、Ⅴ类围岩中衬砌厚度分别为45 cm和50 cm。

隧洞设计采用光面爆破法开挖,其中Ⅳ、Ⅴ类围岩采用短台阶法开挖,开挖循环进尺1.5 m,开挖时上台阶超前下台阶2~4 m。

3 数值计算模型及参数

数值计算模型采用Flac3D商用软件构建,模型中岩体采用Mohr-Coulomb本构模型,喷护及超前支护采用线弹性本构模型进行分析,锚杆采用Flac3D

提供的锚锁单元进行模拟,衬砌采用Flac3D提供的衬砌单元进行模拟,通过衬砌单元可获取衬砌结构的变形、内力及衬砌与围压的相互作用力等信息。

根据隧洞沿线地形、地质情况,选取各类围岩典型洞段进行分析,表1给出两组典型洞段计算指标。由于典型洞段埋深较大,近似将隧洞视为埋置于无限体中的地下结构,假定岩体为均质连续体,按轴对称问题进行研究。分析计算区域为沿水平方向自隧洞轴线向一侧延伸5.5倍开挖洞径,沿竖直方向自隧洞轴线向上、下各延伸5.5倍开挖洞径,沿洞轴向取90 m。计算过程中通过删除或添加相关单元模拟不同类型围岩中隧洞开挖、支护及衬砌施工过程。

计算中通过提高注浆区岩体力学指标以体现Ⅴ类围岩超前预注浆(注浆区半径8 m)对围岩的加固作用,调整后的岩体黏聚力及内摩擦角分别为450 kPa、26°。考虑钢筋网及钢拱架后初期支护弹性模量取为21.2 GPa,混凝土衬砌弹性模量取为28.0 GPa。取锚杆的弹性模量及屈服强度分别为200 GPa、300 MPa。计算中未考虑地下水作用对围岩变形的影响。Ⅳ、Ⅴ类围岩物理力学指标及开挖支护方式详见表1。

表1 主要计算指标表

围岩类别	岩性	隧洞埋深(m)	岩体密度(kg/m ³)	岩体变形模量(GPa)	岩体泊松比	岩体强度指标		开挖方式	开挖支护方式
						黏聚力/(kPa)	内摩擦角/(°)		
Ⅳ类	含碳片岩	567	2550	3.0	0.30	450	26.57	台阶法	顶拱及边墙设长3.0 m系统锚杆,挂钢筋网,顶拱及边墙设间距1 m的钢拱架,并喷20 cm厚C20混凝土
Ⅴ类	断层带	563	2400	0.8	0.35	100	21.80	台阶法	全断面超前注浆,注浆区半径8 m,顶拱及边墙设长3.5 m系统锚杆,挂钢筋网,全断面设间距0.5 m的钢拱架,并喷20 cm厚C20混凝土

4 围岩变形分析及稳定性评估

随掌子面推进,围岩的变形情况如图2所示,由图可见,在掌子面前1倍洞径时,围岩变形开始明显增大,表明围岩应力释放在掌子面前已发生,在掌子面后2倍洞径内,围岩变形显著增加,表明这一距离内围岩应力释放最为强烈,此后随着距掌子面距离的增加,围岩变形缓慢变化,表明距掌子面越远,围岩变形增量越小,大约距掌子面40~50m之后,围

岩变形趋于稳定。表明此时围岩的应力基本释放完全。图中显示,洞腰围岩变形基本在3倍洞径内完成,洞顶围岩变形收敛过程则较为缓慢。

表2给出隧洞围岩变形计算结果,由表可知洞周沿竖直方向收敛变形量较大,其中:Ⅳ类围岩最大相对收敛变形为44 mm,收敛变形相对值为0.56%;Ⅴ类围岩最大相对收敛变形为67 mm,收敛变形相对值为0.82%。围岩变形指标满足《水利水电工程锚喷支护技术规范》(SL377-2007)^[1]允许变形规定。

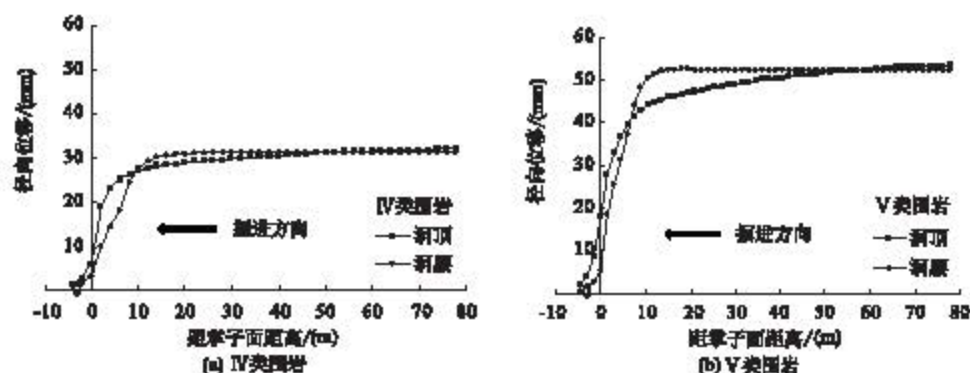


图2 围岩变形与掌子面距离关系

表2 隧洞围岩变形计算结果

围岩类别	IV类	V类
开挖洞径(高×宽)(m)	7.86×8.06	8.16×8.16
岩壁垂直收敛变形(mm)	44	67
岩壁水平收敛变形(mm)	39	62
垂直收敛变形相对值(%)	0.56	0.82
水平收敛变形相对值(%)	0.48	0.76
规范 ^[2] 允许变形相对值(/%)	0.80~2.00	1.00~3.00
变形评价	满足规定	满足规定

围岩塑性区分布图见图3,由图(图上增加标示,指出洞顶位置)可见洞周塑性区分布均呈现洞顶塑性区小,洞底塑性区大的特征。计算所得IV类塑性区厚度为2.5~3.5 m,V类塑性区厚度为2.1~3.5 m,由于锚杆主要分布于洞顶区域,将穿越塑性区,但位于

边墙区域的锚杆长度($L=3.5$ m)略显不足。在一般洞段,设计锚杆长度($L=3.0$ m)基本满足设计要求,但在埋深较大的IV类、V类洞段应适当增加锚杆长度以保证锚杆发挥工效。

隧洞的开挖尺寸一般由以下四部分组成:净空断面尺寸、二衬厚度、预留变形量、喷射混凝土层的厚度^[4]。其中,预留变形量即在初期支护与二衬之间预留的围岩与初期支护共同变形的空间。合理确定预留变形量便可确定出合理的隧洞开挖轮廓,避免超挖或侵入建筑界限的情况发生。水工隧洞相关规范未给出隧洞预留变形量的参考值,根据本次计算成果,并参考公路及铁路隧道设计规范相关规定,建议黄三段隧洞IV、V类围岩预留变形量分别为60 mm和80 mm。

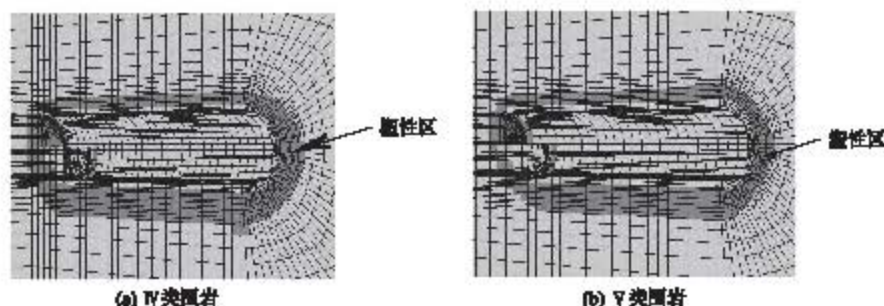


图3 围岩塑性区分布图

5 结语

通过数值计算,获取了黄三段输水隧洞初期支护后的围岩变形情况。计算结果显示采用设计的初期支护形式,可有效控制不良洞段的围岩变形,围岩主要在距掌子面2倍洞径内完成,此后随着距掌子面距离的增加,围岩变形缓慢变化。IV、V类围岩最大收敛变形相对值分别为0.56%和0.82%,满足规范设计要求。根据变形计算结果,建议黄三段隧洞IV、V类围岩预留变形量分别为60 mm和80 mm。本文分析成果为黄三段输水隧洞设计提供了依据,

分析方法可为相似工程提供参考。

参考文献

- [1] 徐干成,白洪才,郑颖人,等. 地下工程支护结构[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [2] 周泽林,陈寿根,李岩松. 高地应力环境下引水隧洞软弱围岩稳定性分析[J]. 水利水电技术,2014,45(2): 87-92.
- [3] SL377-2007,水利水电工程锚喷支护技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [4] 王鹏. 台阶法施工中下台阶开挖对预留变形量的影响[J]. 地下空间与工程学报,2010,6(5): 1077-1081.