

# 某引水隧洞深埋软岩洞段围岩变形量敏感性分析

史存鹏,王家祥,刘承新,胡巍,李银泉

(长江三峡勘测研究院有限公司(武汉),湖北 武汉 430074)

**摘要:**通过深入分析西南某深埋长引水隧洞软岩洞段地应力钻孔实测资料,得到了水平构造应力侧压系数随隧洞埋深的变化规律。在此基础上,采用快速应力边界法开展数值计算,探讨洞型、围岩类别、埋深等因素对该段围岩变形量的影响及其变化规律,开展了围岩变形量敏感性分析。结果表明,该洞段围岩变形量随围岩类别降低而增大,随埋深增加而增大。研究成果可为该类隧洞深埋软岩洞段开挖支护设计提供借鉴。

**关键词:**深埋隧洞;快速应力边界法;软岩大变形;敏感性分析

中图法分类号: P642

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.14.008

软岩是指饱和单轴抗压强度不大于 30 MPa 的岩石,一般具有强度低、变形量大的工程特性<sup>[1]</sup>。根据饱和单轴抗压强度,软岩又可细分为较软岩(15~30 MPa)、软岩(5~15 MPa)、极软岩(<5 MPa)。深埋隧道通过软弱岩层时,在高地应力和富水条件下易发生围岩大变形。有关工程实例表明<sup>[2]</sup>,软岩开挖变形量一般可达数十厘米到一百多厘米,如果不及时支护或支护不当,收敛的最终趋势是将隧道完全封死,这如果发生在永久衬砌构筑以前,往往表现为初期支护严重破裂、扭曲,挤出面侵入限界。

本文对西南某引水隧洞深埋软岩洞段开展围岩变形量敏感性分析,相关分析成果对解决其实际问题、确保工程施工顺利进行和隧道正常运营具有一定的工程意义。

## 1 实测水平主应力侧压系数随埋深变化规律

隧洞研究区属横断山系切割山地峡谷区向滇中盆地山原区过渡地带,区内高山、深谷、盆地相间排列,总体呈现北高南低的地势特征。受区域地质构造的影响,区内地应力场总体以水平构造应力为主。分别以 100、200 m 和 300 m 为间隔统计地应力钻孔实测值,间隔深度内水平主应力侧压系数均值统计结果如表 1 所示。

表 1 隧洞区水平主应力侧压系数统计结果

统计 区间/m	测点 个数/个	最大水平主应 力侧压系数 $\lambda_H$	最小水平主应 力侧压系数 $\lambda_h$	统计 区间/m	测点 个数/个	最大水平主应 力侧压系数 $\lambda_H$	最小水平主应 力侧压系数 $\lambda_h$
100~200	15	1.63	1.17	<200	15	1.64	1.17
200~300	33	1.35	1.02	200~400	53	1.36	1.00
300~400	20	1.37	0.97	400~600	21	1.13	0.68
400~500	7	0.98	0.62	600~800	12	1.02	0.59
500~600	14	1.20	0.70	<300	33	1.44	1.07
600~700	9	1.00	0.58	300~600	41	1.25	0.82
700~800	3	1.09	0.62	>600	14	1.01	0.58
>800	2	0.95	0.50				

考虑浅部地应力对隧洞影响较小,而深部特别是 700 m 以下测点较少,且实测侧压系数偏小,综合建议以埋深 400 m 为分界点,提出该隧洞区水平主应力量值拟合式如下

$$\begin{cases} \sigma_H = 1.40\gamma H \\ \sigma_h = 1.02\gamma H \end{cases} \quad H < 400 \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sigma_H = 1.20\gamma H \\ \sigma_h = 0.74\gamma H \end{cases} \quad H > 400 \quad (2)$$

## 2 敏感性分析

### 2.1 数值模型及边界条件

隧洞开挖断面软岩大变形问题可按平面应变进行

分析。隧洞开挖断面如图 1 所示,模型尺寸取 200 m×200 m×10 m(长×宽×厚),圆形隧洞数值模型共划分为 31 600 个单元,城门洞形隧洞数值模型共划分为 47 780 个单元。

该数值模型用于分析无支护开挖条件下,不同埋深(300,600,900,1 200,1 500 m)、不同洞形、不同围岩类别的隧洞围岩变形量敏感性特征,共分为 5×2×3=30 种工况。数值计算采用 FLAC 3D 大型岩土工程计算软件,通过快速应力边界法加载<sup>[3-4]</sup>。上下边界应力均匀分布,取相应埋深的自重应力;左右边界应力梯度分布,取相应埋深的自重乘以相应的侧压系数。

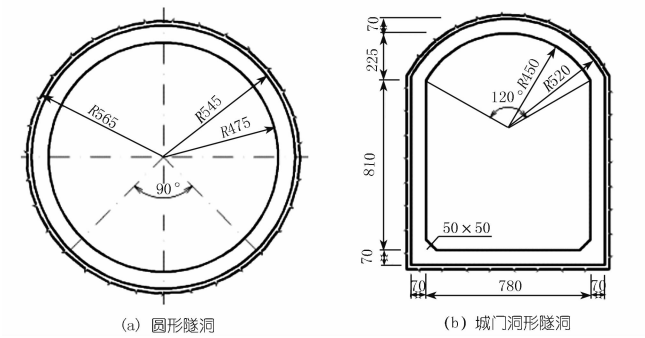


图 1 软岩隧洞开挖断面(尺寸单位:cm)

## 2.2 岩体本构模型及参数

计算采用摩尔-库仑模型<sup>[5]</sup>,软岩洞段岩体物理力学参数取值如表 2 所示。

表 2 软岩洞段岩体物理力学参数取值						
岩性	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	内摩擦角/ (°)	凝聚力/ MPa	变形模量/ GPa	泊松比	侧压系数
极软岩(V)	2100	24.22	0.15	0.8	0.36	1.2(1.4)
软岩(Ⅳ <sub>2</sub> )	2200	28.81	0.30	2.0	0.32	1.2(1.4)
较软岩(Ⅳ <sub>1</sub> )	2300	33.02	0.50	3.5	0.30	1.2(1.4)

注:埋深 300 m 时侧压系数取 1.4。

## 2.3 结果讨论

以埋深 900 m 的Ⅳ<sub>1</sub>类隧洞围岩为例,围岩最大变形量发生在拱腰或左右边墙中部(见图 2)。不同埋深、不同洞形、不同围岩类别的隧洞围岩最大收敛变形值见表 3 和图 3。根据软岩变形程度预测标准<sup>[6]</sup>,以上工况软岩隧洞围岩变形量均可界定为发生了挤压大变形。

表 3 不同埋深隧洞围岩最大收敛变形值 cm						
洞形	岩性	300m	600m	900m	1200m	1500m
城门洞形隧洞	较软岩(Ⅳ <sub>1</sub> )	7.38	13.72	21.80	30.05	38.35
	软岩(Ⅳ <sub>2</sub> )	14.29	28.30	46.08	64.25	82.46
	极软岩(V)	40.88	87.81	147.37	209.60	273.30
圆形隧洞	较软岩(Ⅳ <sub>1</sub> )	6.19	11.30	18.11	24.99	31.91
	软岩(Ⅳ <sub>2</sub> )	12.14	23.26	37.86	53.00	68.17
	极软岩(V)	35.28	72.14	121.45	172.58	224.80

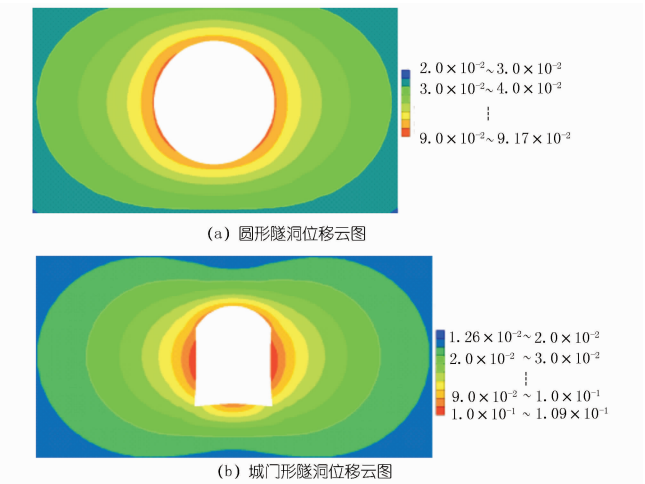


图 2 无支护开挖条件下 900 m 埋深围岩力学响应(单位:m)

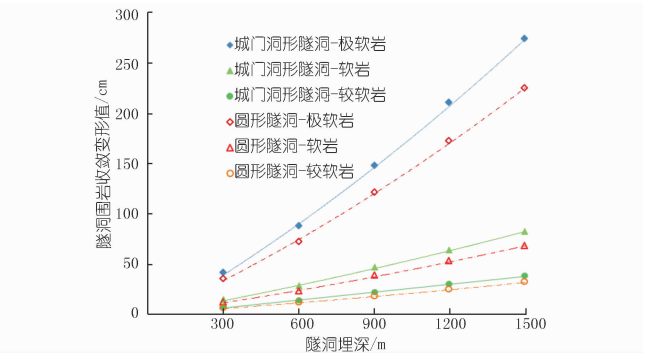


图 3 隧洞围岩最大收敛变形值

## 3 结论

(1) 该隧洞深埋软岩洞段开挖变形量随围岩类别降低而增大;变形量随隧洞埋深增大而增大,且增幅越来越显著;隧洞开挖围岩变形量受洞形影响显著,相同工况下的城门洞形隧洞围岩变形量明显大于圆形隧洞。

(2) 鉴于该深埋软岩隧洞围岩变形量较大,其开挖支护设计必须预留足够的变形空间,防止变形后的初期支护侵入二次模筑混凝土衬砌净空。

### 参考文献:

[1] GB50487-2008 水利水电工程地质勘察规范[S].  
[2] 姜云,李永林,李天斌,等.隧道工程围岩大变形类型与机制研究[J].地质灾害与环境保护,2004,15(4):46-51.  
[3] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC 3D 基础与工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2009.  
[4] 李仲奎,藏荣,姜逸明.FLAC 3D 分析中的初始应力场生成及在大型地下洞室群计算中的应用[J].岩石力学与工程学报,2002,21(s2):2387-2392.  
[5] 蔡美峰,何满潮,刘东燕.岩石力学与工程[M].北京:科学出版社,2006.

陡边坡。临近陡坎、沟壁处宜充分考虑地震引发的边坡失稳、泥石流等震害效应,合理进行抗震设防。

## 6 结 语

(1) 综合手段查明元谋活动断裂为龙街盆地东侧界线断裂,断裂带宽数十米,晚更新世以来仍有活动。

(2) 元谋活动断裂具备发生 6.5 级地震的构造条件,可能在新规划区引发地震错动效应,引发边坡失稳,加剧泥石流灾害等震害。

(3) 元谋活动断裂主断带附近及加剧地质灾害影响的区域为工程建设不适宜或适宜性差区,不宜作为建设用地,集镇新址建设用地宜布置在较适宜区,并切实做好规划及抗震设防措施。

## 参考文献:

- [1] 崔冠英. 水利工程地质(第 4 版) [M]. 北京:中国水利水电出版社,2012.
- [2] 周荣军,黄润秋. 四川汶川 8.0 级地震地表破裂与震害特点[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(11):2173-2183.
- [3] 黄润秋,李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(12):2585-2592.
- [4] 李文军,王伟. 三峡库区城镇规划与迁建有关问题探讨[J]. 人民长江,2013,44(2):21-25.
- [5] 李渝生. 5·12 汶川大地震损毁城镇的震害效应与重建选址问题[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(7):1370-1376.
- [6] Real C R, DeLisle M J, McCrink T. Provisional seismic zoning for ground failures in portions of Los Angeles and Ventura counties following the 17 January 1994 Northridge earthquake [J]. Bulletin of the Seismological Society of America,1996,86(1):262-269.
- [7] Prestininzi A, Romeo R. Earthquake induced ground failures in Italy [J]. Engineering Geology,2000,Special Issue:3-4.
- [8] 周锡元. 断层的地震效应与震害影响[C]//CABR. 地震小区域理论与实践. 北京:地震出版社,1989.
- [9] 马东辉,李刚,钱稼茹. 强震地面断裂时土地利用适宜性的概率评估[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(3):309-312.
- [10] 曾新平,刘富,李茂华,等. 乌东德水电站库区天然地震本底特征研究[J]. 人民长江,2014,45(20):43-46,58.
- [11] 徐如阁,郑万模,巴仁基,等. 大渡河流域泥石流发育特征研究[J]. 人民长江,2013,44(s1):117-119,131.
- [12] CJJ 57-2012 城乡规划工程地质勘察规范[S].

(编辑:郑毅)

## Influence of active fault on location planning of new towns: case of resettlement in Wudongde Hydropower Station

LUO Fei, ZHOU Xuanzhao, FU Tiaojin, LIU Peipei

(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Due to the geological complexity around an active fault, the engineers must thoroughly sort out the unfavorable impacts of active fault on the adjacent ground and buildings in the location planning of new towns. Aiming at the resettlement works of Wudongde Hydropower Station on Jinsha River, the distribution and features of an active fault is explored by geological survey, geophysical prospecting and other explorations according to requirements of standards, and its potential seismic damage type and degree are analyzed. Based on the results, the construction suitability of the planned town is partitioned. The impacts of the active fault on ground and buildings are understand, which lays a foundation for reasonable seismic protection and evasion, and could provide reference for location planning of new towns in similar project.

**Key words:** active fault; site selection of towns; seismic damage; suitability

(上接第 27 页)

- [6] 彭土标,袁建新,王惠明. 水力发电工程地质手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

(编辑:郑毅)

## Sensitive analysis of rock mass deformation in a deep – buried soft rock section of a water diversion tunnel

SHI Cunpeng, WANG Jiaxiang, LIU Chengxin, HU Wei, LI Yinquan

(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Through deeply analyzing the ground stress data in bore holes of a deep – buried tunnel in Southwest China, we obtain the relationship between lateral pressure coefficient of horizontal tectonic stress and the buried depth of the tunnel. Based on numerical simulation of quick stress boundary method, the influence of the tunnel shape, rock classification, buried depth etc. on tunnel rock mass deformation is analyzed and a sensitive analysis is carried out. The results show that the deformation of rock mass in the presented section increases with decline of rock mass classification and with the increase of the buried depth of the tunnel. The results could provide valuable reference for support design of similar deep – buried and soft rock tunnel.

**Key words:** deep – buried tunnel; quick stress boundary method; large deformation of soft rock; sensitive analysis