

隧洞典型断面围岩稳定性数值模拟研究与支护设计效果分析

庄海龙

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局,四川 彭山 620860)

摘 要:隧洞开挖过程中,由于开挖卸荷及扰动的影响围岩出现大变形、局部塌方等工程地质灾害,严重威胁到施工安全及进度。本研究依托杨房沟水电站引水隧洞工程,选取了典型断面,开展了数值分析研究,获得了应力场、变形场和塑性区分布特征。通过有限元数值模拟方法,对不同类型围岩区隧洞开挖后围岩稳定性特征以及初期支护效果进行分析,为优化支护设计提供了合理的参数,为地下工程安全施工方案的制定提供了强有力的支撑。

关键词:隧洞;围岩稳定性;支护设计;效果分析;杨房沟水电站

中图分类号:TV7;TV554;[RV221.2] **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)01-0029-06

Numerical Simulation Study on Stability of Surrounding Rock in Typical Section of Tunnel and Analysis of Designed Supporting Effect

ZHUANG Hailong

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: Excavation unloading and disturbance induces engineering disaster such as large deformation and local collapse in surrounding rock, which seriously threatens the construction safety and influences construction progress. Relied on the selected sections of the headrace tunnel of Yangfanggou Hydropower Station, this study obtains the distribution characteristics of stress field, deformation field and plastic zone through numerical analysis. With the finite element numerical simulation method, the stability characteristics of surrounding rock and the initial support effect after tunnel excavation in different types of surrounding rock areas are analyzed, which provides reasonable parameters for optimizing the support design and provides support for working out safe construction scheme of underground engineering.

Key words: tunnel; stability of surrounding rock; supporting design; effect analysis; Yangfanggou Hydropower Station

1 概 述

杨房沟水电站引水隧洞 3 号施工支洞地质环境复杂,隧址区大量分布炭质板岩,Ⅳ~Ⅴ类围岩^[1]以薄层~极薄层状板岩、碎裂状板岩为主,受节理裂隙切割程度、岩块强度、地下水发育情况、开挖面与层面相互关系等因素影响,围岩破碎程度和变形特征差异较大。软弱破碎岩体是引起隧洞开挖过程中出现掌子面塌方、围岩大变形、掉块等病害的主要原因,因此,对隧洞围岩稳定性及支护效果进行分析,对保证水工隧洞安全施工具有重要的意义。

本研究分别建立了Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类围岩隧洞断

面,对地应力场进行了分析并获得围岩应力环境,通过有限元数值模拟方法,分析获得了围岩的应力场、变形场和塑性区分布特征^[2],为现场安全开挖提供了参考,同时为支护设计奠定了基础。

2 隧洞典型断面围岩稳定性数值模拟研究

2.1 断面位置的选取

围岩应力场以隧址区宏观和细观应力场分析结果为基础,分别选取Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类围岩代表性断面位置,提取了该位置围岩竖向应力和水平应力值(表 1)。

2.2 数值模型的建立

由于软弱、破碎岩体完整性差,在开挖卸荷、地下水环境和应力环境改变下,其力学性能参数

的确定极为重要^[3]。

表 1 围岩应力水平表

围岩等级	最大埋深 /m	上覆竖向应力 /MPa	水平侧向压力 /MPa
Ⅲ	350	9.24	3.96
Ⅳ	650	17	9.18
Ⅴ	300	7.65	4.89

本研究采用 FLAC 和 Abaqus 有限元分析软件,考虑到边界效应的影响,建立了平面尺寸为 50 m×50 m 的单位厚度平面应变模型,在模型顶部施加竖向压力,两侧施加水平压力。模型边界应力的 大小与隧洞所处位置的埋深相关,根据对 全线隧洞埋深及围岩类别进行分析,Ⅲ类围岩 区取埋深为 350 m,Ⅳ类围岩埋深较大,取为 650 m,Ⅴ类围岩埋深普遍较小,取为 300 m,边界 应力量值大小如表 2 所示,模型底部为固定位 移边界。模拟过程中,首先通过弹性模型计算 该模型在自重作用下的自重应力场,然后在模 型边界施加竖向和水平压力并开挖隧洞,计算 此时围岩的应力场、变形场和塑性区分布特征。 隧洞以设计开挖实际尺寸为准(对于不同类别 的围岩,隧洞开挖轮廓尺寸略有差异),围岩质 量越差其二衬厚度越大,则隧洞开挖轮廓相对 越大(表 3)。

表 2 数值模型岩体物理力学参数表

围岩等级	密度 /kg·cm ⁻³	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ	摩擦角 φ°	粘聚力 c /Pa
Ⅲ	2 640	6.5	0.3	36.9	7.5×10 ⁵
Ⅳ	2 625	3.5	0.35	29	4×10 ⁵
Ⅴ	2 550	1.5	0.39	25	2.5×10 ⁵

表 3 数值模型隧洞尺寸表

围岩等级	隧底宽度 L /mm	隧洞高度 H /mm	顶拱半径 R /mm
Ⅲ	6 570	8 400	4 200
Ⅳ	6 730	8 720	4 300
Ⅴ	7 040	9 000	4 500

以弹性模型计算生成自重应力场后,施加 竖向和水平压力,同时开挖隧洞,以 M-C 模型 计算开挖后围岩的应力场、变形场和塑性区分 布特征,据此分析围岩的稳定性。

2.3 围岩稳定性分析

2.3.1 Ⅲ类围岩稳定性分析

根据前述围岩物理力学参数及隧洞几何 参数,采用 FLAC3D 有限差分程序建立数值模 型,

并施加竖向和水平应力,模拟隧洞开挖后围 岩的应力场和变形场分布特征。

所获取的应力场特征为:隧洞轮廓浅层岩 体出现拉应力,尤其是拱顶和底板中部位置,处 于近似三向受拉作用,边墙深部围岩出现较大 的压应力集中区域,最大压应力达到约 20 MPa。

获取的最大变形特征为:最大水平变形位 置位于边墙到拱肩区域,两侧围岩向隧洞内的 收敛变形约为 29 mm;底板隆起变形最大,约 为 13 mm,拱顶下沉变形约为 26 mm。总体来 看,隧洞开挖后围岩向洞内收敛变形,但变形量 值不大,最大变形为拱顶下沉。

从Ⅲ类围岩隧洞开挖后应力场、变形特征 和塑性区分布特征可以推断:

(1)Ⅲ类围岩岩体完整性和力学性能较好, 开挖卸荷将引起隧洞拱顶和底板中部局部区域 拉应力集中,同时拉应力量值较小,并不会引起 围岩的拉裂破坏,无塑性区分布;但是,需要注 意的是:现场爆破震动造成浅部围岩破碎,在拉 应力作用下产生局部掉块现象。

(2)边墙位置的围岩处于三向受压的压应 力集中作用,较大的压应力作用使得浅部围岩 产生塑性破坏,但塑性区范围较小,最大深度仅 约 4.5 m,产生的收敛变形也非常有限,仅为 29 mm。

(3)总体来看,对于Ⅲ类围岩区域,隧洞开 挖后整体稳定性较好,不会产生较大的收敛变 形或塑性破坏,但要警惕拱顶围岩在节理切割 和施工扰动作用下出现的局部掉块造成人员和 机具损伤。

2.3.2 Ⅳ类围岩稳定性分析

与Ⅲ类围岩不同,Ⅳ类围岩分布区域隧洞 埋深较大,上覆压力亦较大。同时,Ⅳ类围岩力 学性能更差,岩体完整性更差,Ⅳ类围岩开挖 断面尺寸也更大,从而造成围岩稳定性较Ⅲ类 围岩差得多。初步的数值分析结果表明:在此 情况下,围岩已经产生持续的塑性变形,围岩已 经失稳破坏。为此,采用基于强度折减法的数 值分析,在既有工况下,通过不断折减围岩黏 聚力和内摩擦角,直至计算收敛的临界状态,得 到稳定性系数。

通过强度折减计算,Ⅳ类围岩在大埋深下 的稳定性系数 $f_s=0.96$ 。

所获取的应力场特征为:隧洞轮廓浅层岩 体

出现拉应力,拉应力区较Ⅲ类围岩大,但是并没有出现三向受拉作用区;边墙深部围岩出现较大的压应力集中区域,最大拉应力仅为0.07 MPa。在隧洞开挖轮廓浅部的围岩,其最大压应力为45 MPa。

所获取的最大变形特征为:与Ⅲ类围岩类似,最大水平变形位置位于边墙中部至拱肩区域,但变形量显著增大,两侧边墙围岩向隧洞内的收敛变形达到1.2 m;底板隆起变形最大约为0.19 m,拱顶下沉变形则达到0.85 m。总体来看:隧洞开挖后围岩向洞内收敛变形且变形量值较大,最大变形依然为拱顶下沉。

从Ⅳ类围岩隧洞开挖后的应力场、变形特征和塑性区分布特征可以推断:

(1)Ⅳ类围岩岩体完整性和力学性能相对较差,且隧洞埋深普遍较大,围岩压力亦相应更大,开挖卸荷将引起隧洞拱顶和底板中部局部区域的拉应力集中,但并没有三向拉应力集中区。由于围岩收敛变形量大,加上围岩完整性较差,施工爆破扰动作用下降,将会出现局部甚至整体垮塌破坏。

(2)边墙位置的围岩处于三向受压的压应力集中作用,较大的压应力作用使得浅部围岩产生显著的塑性破坏,塑性区自拱肩和底脚向边界贯通,产生的收敛变形较大,临界状态下两侧边墙的最大收敛变形达到1.2 m。

(3)总体来看,在最大上覆压力工况下,由于Ⅳ类围岩隧洞埋深普遍较大,围岩压力大且围岩完整性相对较差,隧洞开挖后整体稳定性较差,稳定性系数为0.96,塑性破坏范围显著扩大并贯通失稳。非最不利工况下,围岩整体问题需要警惕拱顶围岩在节理切割和施工扰动作用下出现的局部掉块甚至塌方风险,同时要关注边墙持续、较大的收敛变形。

2.3.3 V类围岩稳定性分析

与Ⅳ类围岩相比,V类围岩的力学性能更差,岩体开挖后围岩的稳定性更差。但是,相对来说,V类围岩所在区域隧道埋深普遍较小。根据对全线V类围岩区隧道埋深情况进行的分析,取最大埋深300 m处典型断面开展了稳定性分析。

所获取的应力场特征为:隧洞轮廓浅层岩体出现拉应力,拉应力区与Ⅳ类围岩类似,同样并没

有出现三向受拉作用区;边墙围岩出现较大的压应力集中区域,围岩应力场分布特征与Ⅳ类围岩临界状态应力场相似。

所获取的最大变形特征为:最大水平变形位置位于边墙中部至拱肩区域,但变形量显著增大,两侧边墙围岩向隧洞内的收敛变形超过1.3 m;底板隆起变形值最大约为0.18 m,较Ⅳ类围岩小,拱顶下沉变形则达到0.9 m,较Ⅳ类围岩大。总体来看,隧洞开挖后围岩向洞内产生收敛变形。

同样,V类围岩典型断面初步数值分析结果表明:在300 m埋深情况下,围岩已经产生持续的塑性变形,已经失稳破坏。同样,采用基于强度折减法的数值分析,在既有工况下,通过不断折减围岩黏聚力和内摩擦角,直至计算收敛的临界状态,即可得到稳定性系数。

通过强度折减计算,V类围岩在较浅埋深(300 m)下的稳定性系数 $f_s=0.89$ 。

从V类围岩开挖后围岩最大和最小主应力云图可以看出:隧洞轮廓浅层岩体出现拉应力,拉应力区与Ⅳ类围岩类似,同样并没有出现三向受拉作用区;边墙围岩出现了较大的压应力集中区域,围岩应力场分布特征与Ⅳ类围岩临界状态应力场相似。

从V类围岩隧洞开挖后应力场、变形特征和塑性区分布特征可以推断:

(1)V类围岩岩体完整性和力学性能差,虽然其总体埋深较小,但在开挖卸荷下已经出现明显的塑性失稳,将引起隧洞拱顶、边墙、底板浅层张拉破坏,深部压剪破坏;围岩收敛变形量大,达到米级,加上围岩完整性较差,施工爆破扰动作用下将出现明显的垮塌破坏。

(2)对于顶板围岩较大的下沉变形,应特别注意围岩的稳定性特征,在重力作用下,极易出现掉块、局部垮塌甚至贯通性失稳破坏,因此,应加强初期支护强度并在开挖后及时支护。对于底板围岩上拱变形,一方面,其变形量值显著小于顶板围岩下沉量;另一方面,施工过程中其底板在机械设备和运输车辆的反复碾压下,考虑一定的施工荷载,也有利于减小围岩的上拱变形,且底板围岩的变形并不会引起工程灾害。因此,只要保证不影响永久支护结构的施工,可以不必对其进行处置。

(3)总体来看,虽然V类围岩隧洞埋深普遍较

小,围岩压力较小,但是,由于围岩完整性极差,隧洞开挖后整体稳定性差,埋深 300 m 处的稳定性系数为 0.86,塑性破坏范围显著扩大并贯通失稳。进一步考虑现场围岩碎裂化特征的实际情况,加上局部地下水软化作用,可以判断:在这些非最不利工况组合下,围岩的稳定性将会更差,在较小的埋深情况下,围岩即产生较大的塑性不收敛变形,甚至是整体失稳破坏。

3 隧洞围岩初期支护效果分析

3.1 初期支护效果分析

根据前期隧洞支护设计资料,不同类别围岩采取的支护措施方案见表 4。

表 4 支护衬砌参数对比表

项目	Ⅲ类围岩	Ⅳ类围岩	Ⅴ类围岩
喷混凝土	5 cm	12 cm	15 cm
挂网	随机	φ6.5 @150×150	φ6.5 @150×150
锚杆 φ25, L=4.5 m	随机	间距 1.5 m	间排距 1.2 m
衬砌厚度	30 cm	40 cm	60 cm
回填灌浆	拱顶 120°	拱顶 120°	拱顶 120°
固结灌浆	/	每排 10 孔	每排 10 孔
钢支撑	/	间距 1.5 m	间距 1.2 m

3.2 支护模型的建立

采用 Midas-GTS 有限元软件开展围岩支护效果模拟研究。Midas-GTS 是一款成熟的大型通用有限元分析软件,可以方便地模拟岩土介质及其工程结构措施,分析不同介质的协同工作及受力变形特征。考虑到隧洞开挖后浅层围岩受扰动、力学性能的弱化作用,将现场试验获得的围岩弹性模量作为开挖后松动圈围岩的力学参数,将其余力学参数相应折减弱化。根据前面对围岩开挖稳定性的模拟结果,综合取围岩浅层 3 m 范围为松动圈,亦即浅层 3 m 岩体采用松动圈围岩参数,深部围岩依然采用原状岩体力学参数。

开挖后的岩体物理力学特征见表 5,其余隧洞几何尺寸及应力环境参数依然采用表 2 和表 3 所示的数据,建立有限元网格模型,施加相应的竖向和水平应力,并且根据表 4 所示采用的隧洞支护措施,通过结构单元模拟初期支护措施中的锚杆和钢支撑,计算并分析在初期支护作用下围岩的应力场和变形场特征。

表 5 开挖后的岩体物理力学参数表

围岩等级	围岩条件	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ	摩擦角 φ°	粘聚力 c /kPa
Ⅳ	原状	3.5	0.35	29	400
	松动圈	1.5	0.37	26	175
Ⅴ	原状	1.5	0.39	25	250
	松动圈	0.5	0.41	20	85

3.3 Ⅳ类围岩支护效果分析

作为对比,选取与未支护围岩稳定性分析相同的Ⅳ类围岩模型,即实际工程现场Ⅳ类围岩中埋深最大处断面,在隧洞开挖后施加锚杆、喷射混凝土层和钢拱架三种主要的初期支护措施。其中,喷射混凝土层的模拟是将挂网考虑在内,采用 C25 混凝土与挂网综合参数,用 C30 混凝土代替,并计算初支作用下围岩的应力和变形特征,进而对初期支护效果进行评价。

根据实际施工过程,待围岩开挖后应力调整之后施加初期支护结构。Ⅳ类围岩初期支护模型参数见表 6。

表 6 Ⅳ类围岩初期支护模型参数表

初衬结构	规格	弹性模量 /GPa	泊松比	摩擦角 /°	黏聚力 /MPa
喷混凝土 C30	12 cm	30	0.167	54.9	3.14
钢架	16 号 工字钢	200	0.3	/	/
锚杆	φ25	200	0.3	/	/

在此过程中,围岩应力分两阶段释放,分别为开挖后未支护阶段和初期支护阶段。结合实际施工情况,Ⅳ类围岩开挖后第一阶段应力释放系数为 0.3,第二阶段为 0.35。原本不稳定的Ⅳ类围岩大埋深典型断面在由锚杆、喷射混凝土、钢拱架等联合初支作用下,考虑实际开挖过程中围岩应力的两阶段释放过程,围岩整体达到稳定。

所获取的Ⅳ类围岩埋深最大位置处隧洞施加初期支护后的应力场特征为:(1)支护后围岩未出现双向受拉区域,隧洞开挖轮廓浅部围岩应力显著减小,最大压应力值在 3.7~37 MPa 之间,浅部围岩竖向应力普遍较小,围岩深部区域原岩应力受较大双向受压状态,初期支护作用后围岩应力分布较均匀,高应力位置主要集中在拱脚等局部区域;(2)锚杆及钢拱架对围岩应力调整作用显著,浅部围岩应力趋于均匀且量值显著减小,更有利于围岩的稳定性。

获取的围岩变形及塑性区分布特征为:与未支护情况下对比,总体来看,围岩变形量显著减小,水平最大变形出现在拱腰附近,最大约为 55 mm,两侧向洞内收敛变形;竖向最大变形出现在拱顶,下沉量约为 45 mm,底板上拱最大约为 37 mm。由于围岩变形量较大,导致锚杆和钢拱架均产生较大的变形,表现为锚杆随围岩向洞内的收敛变形,而钢拱架变形主要在拱腰附近被压屈变形,锚杆最大变形量约为 42 mm,钢拱架最大变形约为 50 mm,变形量值均较小。

从Ⅳ类围岩隧洞开挖并施加初期支护措施后的围岩应力场、变形特征和塑性区分布特征以及锚杆和钢拱架变形特征可以推断:

(1)Ⅳ类围岩最大埋深较大,围岩应力较大,开挖后施加初期支护措施后,有效提高了围岩的稳定性,使围岩应力的分布更趋于均匀,围岩浅部无双向受拉区,且受压应力较小。

(2)由于围岩应力的调整,作用在初期支护结构上的压力较大,使锚杆和钢拱架产生变形,且变形主要集中在拱腰附近区域。为此,初期支护施做后,应密切关注钢拱架的变形,尤其是拱腰处钢拱架的压屈,在埋深较大、地下水发育,或者受明显偏压的洞段,应进一步考虑加密钢拱架、减小钢拱架支护的间距。

(3)开挖后的围岩应力调整是一个渐进的过程,对于自稳能力较好的岩体,可以充分发挥围岩的自稳能力,提高第一阶段的应力释放率,减小作用在初支结构上的围岩压力;对于自稳能力差的岩体,则应尽快完成初期支护,保证围岩整体的稳定性。

总体来看,在最大上覆压力工况下,由于Ⅳ类围岩隧洞埋深普遍较大,围岩压力大,使得原本不稳定的隧洞在初支作用下整体保持稳定。考虑到围岩应力作用在初支上的时间效应,在施工的短期内可以保证围岩的整体稳定。但是,需要密切监控钢拱架的变形状态及速率,避免出现压屈破坏,并在产生较大变形前施做完成永久衬砌,如此实施:可以充分发挥围岩的自稳能力,保证围岩的长期稳定性。

3.4 V类围岩支护效果分析

同样,选取与未支护围岩稳定性分析相同的Ⅴ类围岩模型,即实际工程现场Ⅴ类围岩中埋深

最大处断面,在隧洞开挖后施加锚杆、喷射混凝土层和钢拱架三种主要的初期支护措施^[4](表 7)。其中,喷射混凝土层的模拟是将挂网考虑在内,采用 C25 混凝土与挂网综合参数,用 C30 混凝土代替并计算初支作用下围岩的应力和变形特征,进而对初期支护效果进行评价。

表 7 V类围岩初期支护模型参数表

初衬结构	规格	弹性模量 /GPa	泊松比	摩擦角 /°	黏聚力 /MPa
喷射混凝土 C30	15 cm	30	0.167	50	2.8
钢拱架 16 号工字钢	间距 1.2 m	200	0.3	/	/
锚杆	φ25	200	0.3	/	/

考虑到隧址区广泛分布的软弱、碎裂状炭质板岩,开挖后围岩自稳能力极差,因此,模拟过程中,将岩体开挖后第一阶段的围岩应力释放率取为 0.1,初期支护作用后的应力释放率取为 0.3,故其后期永久支护还应承担余下 0.6 的围压压力。

所获取的Ⅴ类围岩埋深最大位置处隧洞施加初期支护后的应力场特征为:(1)支护后围岩应力较小,分布均匀,仅在隧洞底板和拱腰处出现很小的拉伸应力集中,而拱脚局部区域出现压应力集中;(2)隧洞开挖轮廓浅部围岩应力显著减小,最大压应力值约为 9.8 MPa,除局部压应力集中外,浅部围岩竖向应力普遍较小(小于 3 MPa),围岩深部区域原岩应力受较大双向受压,初期支护作用后围岩应力分布较均匀。

所获取的围岩变形及塑性区分布特征为:(1)与未支护情况下对比,总体来看,围岩变形量显著减小,最大变形同样出现在拱腰附近(最大约为 30 mm)。(2)主要产生向隧洞内的收敛变形以拱腰和底板变形为主,变形较均匀,变形量值较Ⅳ类围岩小;(3)塑性区分布方面,与Ⅳ类围岩类似,塑性区主要分布在两侧边墙及拱脚区域,在拱顶和底板处并未形成塑性贯通区,塑性区最大范围约为 $h_p=3.8$ m,较Ⅳ类围岩小。

从Ⅴ类围岩隧洞开挖并施加初期支护措施后的围岩应力场、变形特征和塑性区分布特征以及锚杆和钢拱架变形特征可以推断:

(1)Ⅴ类围岩埋深普遍较小,围岩应力较小,两阶段围岩应力释放率较小,施加初期支护措施

后,大大提高了围岩的稳定性,使围岩应力分布更趋于均匀,围岩拱腰附近浅部出现拉应力集中,拱脚浅部出现压应力集中,总体围岩应力量值较小,整体稳定性好。

(2)相对于Ⅳ类围岩,作用在初期支护结构上的压力较小,锚杆和钢拱架产生的变形量小得多,尤其是钢拱架,最大变形仅为Ⅳ类围岩的 60%左右。因此,对于Ⅴ类围岩,初期支护作用效果较好,但在永久性衬砌未完成前仍应密切关注钢拱架变形,尤其是拱腰处的压屈变形。

总体来看,在最大上覆压力工况下,由于Ⅴ类围岩隧洞埋深普遍较小,围岩压力较小,原本不稳定的隧洞在初支作用下稳定性显著提高,考虑到围岩应力作用在初支上的时间效应,在施工的短期内可以保证围岩整体稳定。但是,需要密切监控钢拱架的变形状态及速率,避免出现压屈破坏,并在产生较大变形前完成永久衬砌^[6]。这样实施:一方面可以充分发挥围岩的自稳能力,同时能够保证围岩的长期稳定性。

4 结 语

(上接第 20 页)

光扫描及全自动机器人测量检测系统进行塌腔壁的稳定判断及监测,对扫描分析判断的塌腔壁进行分区分块,采取有序“蚕食化”支护施工,在全面安全监测体系的支持下,在严把施工质量的前提下成功地将地震形成长达 7 a 之久且余震不断的塌腔壁支护完成,为后续类似塌腔体的支护施工获得了宝贵的施工经验。

参考文献:

[1] 水工建筑物地下工程开挖施工技术规范,DL/T5099—2011 [S].

隧洞开挖后围岩约束作用减小,软碎岩体变形参数显著劣化,围岩稳定性显著降低。合理、及时的初期支护措施能够有效提高围岩的环向约束作用,从而提高围岩的稳定性,对保证水工程隧洞的安全施工具有重要的意义。

参考文献:

[1] 工程岩体分级标准,GB/T 50218—2014 [S].
[2] 沙 鹏,伍法权,李 响,梁 宁,常金源.高地应力条件下层状地层隧道围岩挤压变形与支护受力特征[J].岩石力学,2015, 36(5):1407—1414.
[3] 孙广忠.碎裂岩体的变形参数[J].水文地质工程地质,1982,29(5):29—30.
[4] 戴永浩,陈卫忠,田洪铭,杨建平,孟祥军,邓小林.大梁梁隧道软岩大变形及其支护方案研究[J].岩石力学与工程学报,2015,24(增 2):4149—4156.
[5] 郭 健,阳军生,陈 维,沈 东,刘 涛,柴文勇.基于现场实测的炭质板岩隧道围岩大变形与衬砌受力特征研究[J].岩石力学与工程学报. 2019,38(4):832—841.

作者简介:

庄海龙(1974-),男,吉林敦化人,项目常务副经理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[2] 工程岩体分级标准, GB/T50218—2014[S].
[3] 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范,JGJ130—2019 [S].
[4] 水电水利工程锚喷支护施工规范,DL/T5181—2017[S].
[5] 水电水利工程预应力锚固施工规范,DL/T 5083—2019 [S].

作者简介:

林晓旭(1986-),女,四川资中人,工程师,从事市政、水电、铁路工程施工技术与管理工作;
夏维学(1972-),男,四川仁寿人,正高级工程师,从事市政、水电、铁路工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

中国水电七局荣获四川省最佳文明单位

2020 年 12 月 28 日,在全省精神文明建设表彰大会上,水电七局从上千家在川企业脱颖而出,荣获“第五届四川省最佳文明单位”称号。

近年来,公司党委以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,积极践行社会主义核心价值观,把文明单位创建作为引领企业创新创造的综合载体,做到物质文明和精神文明两手抓、两促进。

通过抓实顶层设计、研究部署、制度落实“三项工作”,推进三个基本、三大平台、三大行动“三三工程”,创新价值引导、道德文化、爱国教育“三大载体”,开展职工服务、青年服务、社会服务“三大活动”,从创建规划制定、实施方案落地、理想信念教育、党群文化活动、党建深度融合、文明优质服务等多方面系统规范推进,在企业业务结构调整、区域市场突破、“一带一路”建设等取得重大进展,连续三年在电建集团业绩考核中名列前茅,巩固了中国水电建设的主力军地位,成为国内基础设施建设领域的重要力量,呈现出高质量发展的良好态势。

(水电七局 供稿)