白川电站隧洞软岩特性与支护型式研究

余侃柱
(甘肃省水利水电勘测设计研究院 兰州市 730000)

提要 白川水电站隧洞围岩为碎屑岩,具有岩性软弱,强度低,模量低,遇水后表面易软化、崩解,失水后易干缩开裂,干湿效应显著。该文深刻阐述了白川水电站隧洞白垩系软岩围岩工程地质特性、围岩类别划分,总结了施工中所采用开挖及支护型式、控制围岩稳定的措施和方法。

关键词 白垩系软岩 隧洞 围岩类别 开挖与支护

Study on Characteristics and Supporting Pattern of Soft Rock of Baichuan Hydropower Station Tunnel

Yu Kanzhu
(Institute for Water Conservancy and Hydropower Investigation and Design of Gansu Province)

Abstract The surrounding rock of Baichuan hydropower station tunnel is clastic rock with the properties of weak lithology, low strength and low modulus. It is easy to soften and disintegrate while it meets with water. But once the water loss it will shrink and crack soon. That is, there is significant wetting and drying effect. In this paper, the engineering geologic characteristics and classification of surrounding rock of the Cretaceous soft rock of Baichuan hydropower station tunnel are deeply expounded, the pattern of excavating and supporting, the measures and methods in control of the stability of surrounding rock in the course of construction are also summarized.

Keywords Cretaceous soft rock; tunnel; classification of surrounding rock; excavation and supporting

1 前言

甘肃省渭水白川引水式水电站,设计引水流量171m³/s,最大水头27.05m,装机容量36MW,引水隧洞长4.128km,隧洞断面为马蹄形,隧洞围岩岩性为白垩系下统河口群(K_{1hk}^{2c})碎屑岩类,该地层岩性软弱,强度低,模量低,特别是遇水后表面易软化、崩解,失水后易干缩开裂,开挖暴露时间长时岩体风化加剧,干湿效应显著。隧洞围岩的稳定性对施工安全、工期、运行、投资等影响较大,研究白垩系软岩隧洞工程地质特性,对开发和建设类似软岩地层具有重要的实践意义。

2 工程地质概况

白川引水式水电站引水隧洞在工程勘察时推荐隧洞方案,即施工中实施线路,总体布置尽量避开滑坡体、泥石流、崩塌堆积体。隧洞穿越中—低山区,地表沟壑发育,山梁和冲沟相间发育,地表无植被,大部分地段洞顶岩体裸露,风化侵蚀强烈,隧洞地面高程1670~1850m,埋深一般为50~130m,洞顶最小埋深仅6~8m,最大埋深180m。隧洞围岩岩性为白垩系下统河口群(K_{1hk}^{2c})第二组上部碎屑岩类,岩性为泥质粉细砂岩、粉砂质泥岩、泥岩及钙质砂岩薄层,褐红色、砖红色、紫红色为主,地层产状总体为NE20°~70°NW∠6°~12°,为单斜水平层状结构,缓倾角岩层,岩性单层厚度一般几毫米到几十厘米,以薄~中厚层为主,局部具有一定相变特征。隧洞围岩断层不发育,但风化裂隙、层面裂隙和层间错动发育,裂隙面光滑,充填方解石脉、岩屑和泥质,在层间和错动带有清晰擦痕和挤压面,夹有2~5cm厚灰绿色条带。隧洞穿越冲沟底部,开挖时局部岩壁有潮湿或渗水,在拱顶和拱角沿层面发生掉块或坍塌,特别有地下水浸泡岩体后,干湿效应明显,15d后基本

作者简介:余侃柱(1965-),男,高级工程师,主要从事工程勘察及岩土工程监理工作。
收稿日期:2008-05-26

万方数据

干燥无水，总体洞室无地下水，岩体干燥。工程区50年超越概率为10%，地震动峰值加速度为0.15g，地震动反应谱特征周期为0.45s。

3 隧洞围岩工程特性

3.1 围岩物理性质

隧洞围岩进行取样试验分析。泥质粉细砂岩颗粒组成：砂粒占25.3%～56.2%，粉粒占14.5%～28.3%，粘粒占24.9%～46.4%。矿物成分为石英、长石、高岭石、伊利石、蒙脱石、绿泥石，化学成分 SiO_2 为主，其次为 Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO。天然密度2.51～2.55g/cm³，天然含水量2.5%～4.5%，比重2.69，自由膨胀率10%～24%，单轴抗压强度变化较大：原状4.5～12.5MPa，饱和3～7MPa，干燥12.6～39.2MPa；弹性模量：原状674～2556MPa，饱和364～1055MPa；变形模量：原状622～1338MPa，饱和270～890MPa；泊松比：原状0.19～0.34，饱和0.22～0.28；三轴抗剪断强度：原状 $c=0.3\sim0.41$MPa，$\varphi=32°\sim39°$，饱和 $c=0.27$MPa，$\varphi=29°$。软化系数0.19～0.24。崩解试验表明：10min崩解5%～10%，1h崩解15%～40%，5h崩解30%～50%，24h崩解70%～100%。纵波速度值为1900～3100m/s。从洞室开挖观察，围岩具有风干速度快，遇水易软化，失水易干缩开裂、崩解特征。物理力学试验指标表明，隧洞围岩属软岩，尤其饱和后指标变幅值下降较大，对围岩类别的影响尤为关键。

3.2 围岩类别划分

根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287－99)(以下简称《规范》)，以影响围岩稳定的主要因素岩石饱和单轴抗压强度、岩体完整性系数、主要结构面状态、地下水状态、主要结构面产状五项因素为基本判据，围岩强度应力比为限定判据，划分为Ⅳ、Ⅴ类围岩，Ⅳ类围岩占隧洞长39.4%，Ⅴ类围岩占隧洞长60.6%。影响围岩稳定的因素很多，不仅受控地质因素(岩体完整程度、岩块坚硬程度、结构面抗剪特性、地下水、岩体初始应力、主要结构面与工程轴线组合关系、声波速度等)，而且工程因素如洞室断面大小、形状、高跨比等；施工因素如洞室开挖手段、施工方法和程序、工艺、一次支护措施等，对隧洞围岩稳定性也有一定影响。规范中以地质因素为主进行围岩类别划分，而对软岩的分类和稳定性评价，工程因素和施工因素有时往往起着决定性作用。

3.3 围岩类别与支护型式

根据规范划分围岩类别和采用新奥法(NATM)施工支护型式见表1。

表1 围岩类别和支护型式

围岩类别	开挖断面(高×宽)/m	围岩总评分	围岩稳定性	开挖方法	一次支护	二次支护(衬砌)
Ⅳ	10.03×10.16	25～35	不稳定	钻爆法光面爆破。短台阶上、下分部开挖为主，先挖上半洞，后挖下半洞，部分段全断面开挖。改装台车和手风钻，每循环进尺0.8～2.5m不等。	紧贴岩面钢拱架 I_{18}@0.8～1.5m，顶拱180°范围系统锚杆 Φ25，梅花形布置，$L=3$m，环向间距2m，纵向间距与钢拱架相同。顶拱150°范围钢筋网 Φ6.5@200mm×200mm，喷C20早强混凝土，分2次喷，厚度分别为5cm和13cm。	现浇C20钢筋混凝土。衬砌厚度：顶拱、侧墙0.45m，底板0.5m，衬砌后8.9m×8.9m。
Ⅴ	10.25×10.4	10～20	极不稳定	钻爆法光面爆破，分部台阶开挖法。上、下半洞分3～5次(层)开挖，弱爆破，边开挖边支护。下半洞采用单侧掘进，左右侧错开落底，改装台车和手风钻，每循环进尺0.5～1.5m不等。	紧贴岩面钢拱架 I_{20a}@0.5～1.5m，顶拱180°范围系统锚杆 Φ25，梅花形布置，$L=3$m，环向间距1.5m，纵向间距与钢拱架相同。锁脚锚杆8Φ25，$L=4$m，钢筋网 Φ6.5@200mm×200mm，喷C20早强混凝土，分2次喷，厚度分别为5cm和15cm。在进出口洞脸、支洞交岔段采用加强支护，紧贴岩面钢拱架 I_{20a}@0.5～0.8m，Φ48超前小导管或超前锚杆，$L=3$m，环向间距0.3m，顶拱180°范围内布置，每三榀钢拱架设一排。	现浇C20钢筋混凝土。衬砌厚度：顶拱、侧墙0.55m，底板0.6m，衬砌后8.9m×8.9m。

4 施工控制措施和方法

4.1 地质编录与预报

超前地质预报对施工进度和投资起到了重要作用，最大限度杜绝事故发生，保证施工安全，取得了良好的社会效益和经济效益。隧洞围岩以单斜水平岩层为主，基本无地下水，但层面裂隙、风化裂隙、层间错动和剪切几组裂隙切割岩体呈块状、楔状，每循

万方数据

环进尺观察掌子面拱顶和拱角、侧墙裂隙产状变化和切割形态,地下水状态,运用赤平极射投影法、实体比例投影法和剖面图图解分析法快速定性分析判断岩体稳定性。结合掌子面打炮孔进尺、钻进速度、回水颜色、卡钻、跳钻、光爆效果等观察预报前方围岩的变化。在接近浅埋段或过地表冲沟段,适时调整光爆参数,循环进尺,及时支护紧跟,观察监测地表有无变化,从而避免了较大塌方或掉块危害。对围岩由差变好也需要预报,及时指导调整有关爆破及支护参数,减少超欠挖,减少围岩人为扰动。对特殊段采用声波测试方法预报前方围岩变化情况。

4.2 围岩监控量测

按新奥法设计和施工,对于软岩隧洞,现场围岩监控量测尤为重要。主要监测洞内周边位移变化和洞内拱顶下沉,判断围岩一次支护稳定性和二次支护时机及参数。在进出口段、浅埋段、交岔段、典型Ⅳ、Ⅴ类围岩布置监控断面。通过监测发现围岩变形在开挖后第1月内变化较大,第2~3月逐渐趋于稳定状态。运用地质编录资料及施工支护措施分析对周边变形或下沉量超过规范允许值段产生的原因,及时采取加固措施,有效遏制围岩变形和坍塌发展。(现场主要判断标准:隧洞周边水平收敛速度小于0.2mm/d,拱顶或底板垂直位移速度小于0.1mm/d)。另外选择性进行围岩压力、锚杆拉拔试验。观测资料最主要的有围岩变形与时间关系曲线、围岩变形速率与时间关系曲线、围岩变形距掌子面关系曲线。当观测曲线趋于平缓时,对观测数据进行回归分析或其他数学方法分析,计算最终收敛变形(即$t\to\infty$时收敛变形值),可为判定围岩及一次支护稳定情况和二次支护实施时机提供科学依据。

4.3 施工中主要方法和措施

软岩隧洞,若围岩开挖后裸露时间较长,易风化,施工中用水或特殊段地下水浸泡岩体沿裂隙渗入,导致岩体软化、膨胀、崩解,造成其饱和强度大幅度减小,使其丧失强度和稳定性,若不采取措施,数小时内,岩壁开始掉块、坍塌、膨胀、泥化、内鼓,而在干燥无水时,岩体自身稳定时间达数小时至2周,所以对软岩开挖后及时喷混凝土封闭和支护,减少水(有水时布设排水孔)的浸泡是增强软岩稳定基本措施之一。对大断面软岩隧洞,循环进尺和开挖方法对围岩稳定性影响较大,必须采用短进尺,分部上下台阶开挖的方法,周边炮眼间距、倾角大小、装药量、光爆效果对围岩松动圈范围影响明显,根据岩层产状与裂隙结构面组合特性适时调整爆破参数和循环进尺,对特殊段采用人工开挖、弱震爆破(预裂爆破)及光爆等措施,尽量减少对围岩的扰动和松动。该类围岩岩体透水率很低($q<5$Lu),注浆效果不明显,特殊段采用管棚、超前小导管、超前锚杆等超前预加固措施。

5 结语

1) 在前期勘察过程中,选择隧洞轴线涉及因素较多,地表尽量避开滑坡体、泥石流、崩塌堆积体等不良地质现象,洞线轴向与主要结构面宜大角度相交,与最大主应力方向宜小角度布置,埋深适中。特别对软岩洞室围岩类别划分在前期主要以地质因素为主判定,而在施工中更应重视现场地质编录和地质超前预报工作,修正前期围岩类别划分和预报前方地质条件,指导施工和预防地质灾害发生,优化一、二次支护参数。

2) 新奥法施工对Ⅳ、Ⅴ类围岩,一次支护和监控量测尤为关键。重视围岩中地下水或施工用水对围岩浸泡的破坏,须及时支护封闭以防围岩蠕变、松弛和崩解破坏。遵循"弱爆破、短进尺、强支护、快循环、早衬砌、勤排水、勤量测"的原则。光爆效果是控制围岩超欠挖,减少围岩松动的控制方法之一。

3) 白垩系软岩地层,尤其岩体遇水后干湿效应和工程性质发生很大改变,控制水浸泡和减少围岩暴露风化时间,及时封闭和支护是保证洞室围岩稳定最基本措施。

启 事

本刊2009年定价调整为每期10元,全年60元,邮发代号18-153,全国各地邮局均可订阅,也可汇款到编辑部订阅,欢迎订阅。

地址:河北省保定市东风中路1285号《勘察科学技术》编辑部

邮编:071069 电话:0312-3020887 0312-3094054

万方数据