

综合降水技术在胡麻岭隧道富水粉细砂地层中的应用

王胜国

(中铁十九局集团第三工程有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘 要:兰渝铁路胡麻岭隧道第三系富水粉细砂地层,具有复杂敏感的水稳特性,开挖后随时间推移受地下水的补给,围岩含水率和稳定性具有显著变化的特点。经过理论分析和现场试验,确定洞内采用分部台阶轻型井点降水、超前水平真空降水、重力深井负压降水,洞外采用地表重力式深井降水。通过含水率现场测定,得到降水时机—围岩含水率的关系,确定了富水粉细砂地层隧道施工的最有利降水时机。实践证明,在富水粉细砂地层开挖支护过程中,洞内超前水平真空降水应在开挖前3 d进行,洞内分部台阶轻型井点降水及重力深井真空降水应随时跟进,洞外地表深井降水应超前15 d进行,可稳定控制围岩含水率在10%~11%,达到预期降水效果。

关键词:富水粉细砂;分部台阶轻型井点降水;超前水平真空降水;重力深井负压降水;地表重力式深井降水

DOI:10.13219/j.gigyat.2018.02.014

中图分类号:U455.49 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-3953(2018)02-0053-06

1 工程概况

胡麻岭特长隧道是兰渝铁路重难点工程之一,为双线大断面隧道,全长13 611 m,最大开挖断面162 m²。施工中揭示3#、4#斜井及正洞3 250 m穿越第三系富水粉细砂地层,且有1 750 m轨面标高低于石门水库水面标高;140 m下穿水库,99 m下穿河流,施工难度极大。该地层存在水位高、低渗透性,开挖后掌子面自稳能力极差,易失稳坍塌,经常出现涌水涌砂,沉降过大、初支变形等现象。主要不利水害现象如下:

(1)拱腰渗水,渗水浸泡围岩,围岩软化,在开挖马口时围岩层层剥离,造成拱架接腿无法实施,拱脚背后脱空,上断面突然沉降变形,无法进行下断面施工。

(2)掌子面渗水,核心土崩塌,围岩层层剥离,导管上方严重脱空,从而造成大型塌方。

(3)拱脚、基底浸泡成淤泥,机械无法施工,开挖下台阶经常出现突然沉降,沉降量最大1 205 mm,平均630 mm;开挖底板时,边墙突然收敛,收敛值最大360 mm,平均170 mm。

(4)地下水位高,受水压作用,底板涌水,呈喷射状。

(5)在通过大范围松散段落时,初支出现整体下沉,未封闭成环的段落最大沉降523 mm,平均达到

162 mm,尤其是底板封闭、二衬封闭后还沉降,最大78 mm。

(6)经常出现囊腔与空洞,极大影响了围岩稳定性,若囊腔或空洞中富水,则会在开挖过程中涌出,造成围岩坍塌、初期支护变形。

(7)裂隙水携带泥砂流出,造成初支背后脱空,进而初期支护变形。

(8)饱和粉细砂在施工过程中受机械、人员的扰动,围岩有液化现象,施工难度大。

该段砂岩(DK76+350~DK79+600)大部分为泥质弱胶结,局部夹有钙质胶结的薄层,造成岩性极差、结构较紧密、渗透系数小,其工程性质更接近于具压密作用的粉细砂层,其主要物理力学指标为:含水率4.3%~19.5%,含泥量21%,细度模数0.7,比重2.60,孔隙比0.36~0.48,压缩系数0.07,黏粒含量6%~12%,渗透系数 $4.0 \times 10^{-5} \sim 5.2 \times 10^{-5}$ cm/s。该段埋深9~184 m,采用九部双侧壁法或六部CRD法开挖(开挖工序见图1、图2)。主要支护参数为全环设I25a型钢钢架,间距0.5 m/榀;全环喷射C30早高强砼,厚度33 cm;二衬采用C40钢筋混凝土,全环厚度60 cm;开挖预留变形量35 cm。

2 国内外研究现状

地下水是岩土工程中诱导灾害的常见因素,特别在富水地区,控制地下水在施工全过程中始终是关键环节,是保障工程安全稳定的前提^[1-2]。但富水

收稿日期:2017-12-07

作者简介:王胜国(1983—),男,工程师,主要从事土木工程施工技术管理工作。907613807@qq.com

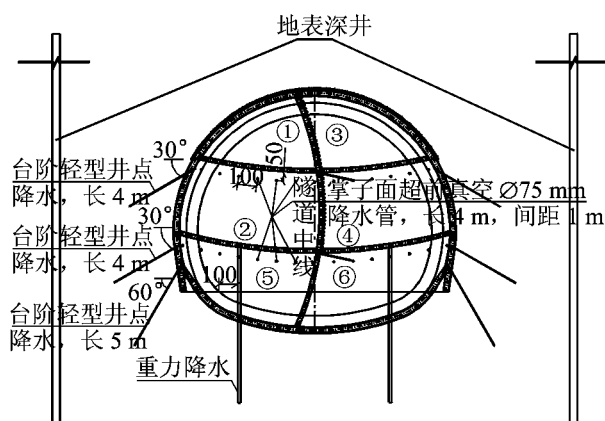


图1 六部CRD降水设计图(单位:cm)

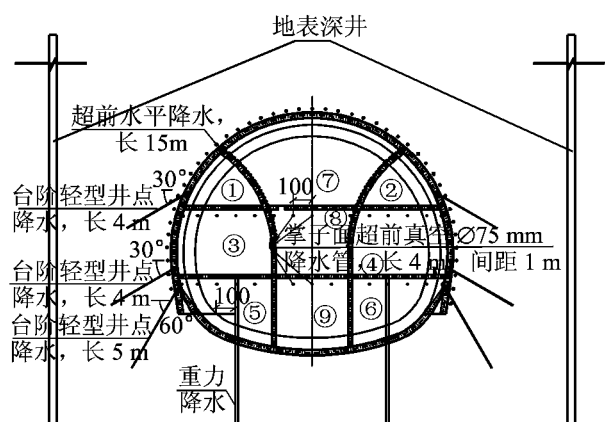


图2 九部双侧壁降水设计图(单位:cm)

地层在降水过程中会产生水土流失,从而带来地层沉降的加剧,对于地层稳定控制极为不利,一般在地铁施工中降水只作为辅助手段^[3]。毕焕军^[4]提出:胡麻岭隧道第三系砂岩具有复杂的水敏特性,在地下水的作用下,围岩易发生塑性变形或流变,施工难度大。

降水技术的研究主要从洞外、洞内两种情况进行^[5-7],其中针对浅埋暗挖隧道、隧道明挖段主要采用洞外降水技术,效果显著,创造了良好的经济效益,未对周边环境造成过大的影响;文献^[8-10]主要针对粉土与粉质粘土交互地层,砂层、中砂层、粉质黏土层,采取真空深井井点降水、轻型井点降水辅助深井真空井降水以及利用各种辅助措施控制地表沉降。李芹峰^[11]针对砂性土中的地铁隧道防水治理进行了试验研究,针对砂性土层流塑性差、含水量高、渗透系数大等问题,叙述了地铁区间隧道砂性土振动液化防治施工技术和为此进行的防水治理试验的技术要点,详述了防水治理试验的过程;王庆林^[12]对桃树坪隧道及胡麻岭隧道第三系富水粉

细砂层围岩的含水率与稳定性的关系进行了分析,得出围岩含水量变化规律和围岩稳定性与含水量之间的关系及其规律;陈德彪^[13]对胡麻岭隧道第三系弱成砂岩蠕变特性进行了试验研究,得出了蠕变方程描述弱成砂岩蠕变特性随含水量的变化情况,分析了各种含水量状态下的蠕变特性,讨论了不同含水量情况下变形与持续时间的影响关系。

3 降水技术的应用

胡麻岭隧道在第三系富水低渗透性粉细砂地层段落施工中,经过大量的理论分析和现场试验,确定采用洞内外综合降水技术。洞内降水包括分部台阶轻型井点降水、超前水平真空降水、重力深井负压降水,洞外采用地表重力式深井降水,如图1、图2所示。

3.1 分部台阶轻型井点降水

分部台阶轻型井点降水措施是解决开挖轮廓线以外及初支未封闭成环区域围岩富水问题。它能保证围岩与初支结构相互作用的稳定性,为下断面开挖支护创造有利条件。

3.1.1 钻孔工艺

降水管采用高压水套管成孔,在成孔下入制备好的降水管。

3.1.2 技术参数

分部台阶轻型井点降水系统由井点管、连接管、集水总管和抽水设备等组成。井点管采用 $\varnothing 32$ mm PPR管,集水管采用 $\varnothing 75$ mm PPR管;井点管必须包双层100目滤网,并在连接部位设阀门,控制井管降水,每一排井点管与集水总管连接,总管接入真空泵。拱部降水管与中台阶部位主管连接,及时将水抽出。其主要目的是使上、下台阶的水位下降,以达到基本无水施工条件,如图3所示。

3.1.3 技术要求

降水过程中,真空负压控制在 -0.06 MPa以下。如果压力升高,说明井点管有漏气的部位,无法形成真空,需对井点管逐根排查,找出漏气部位,然后采用胶布缠,确保达到真空状态。

加强对隧道内出水量的观测,每天记录出水量,及时掌握排水量变化情况,以指导降水运行及隧道的开挖。

钻孔过程中当土质不良、渗透系数较大或有水泡空洞时,应采用钻具内注浆法进行充填注浆,压密

地层。

3.2 超前水平真空降水

超前水平真空降水作用是解决掌子面前方围岩富水问题。该技术在开挖前使掌子面前方形成稳定的漏斗状降水面,提高开挖后掌子面的围岩自稳能力,为实现第三系富水粉细砂段落隧道施工的“快挖快支快封闭”要求创造有利条件。

3.2.1 钻孔

采用 XY-2 地质钻机跟管钻孔,孔径 $\varnothing 89$ mm,孔长 15 m。

3.2.2 技术参数

在开挖轮廓线外采用超前水平真空降水,降水管长 15 m,环向间距 0.75 m,降水管搭接长度 5 m,外插角 10° 。成孔后孔内下入 $\varnothing 42$ mm 真空降水管,降水管上提前钻好 $\varnothing 8$ mm 的孔(后 4 m 不钻孔),孔间距 20 cm,梅花形布置。管外采用双层包裹,内层为土工布,外层包 200 目碳纤维滤网。

在必要情况下,正洞掌子面水平负压降水管由 $\varnothing 75$ mm PPR 管改为 $\varnothing 89$ mm 钢管。布设方式为:上、中台阶(六部交叉中隔壁)两侧各 1 排,间距 0.5 m,掌子面横向布设 1~2 排,降水管单根长 4 m,沿水平方向打设;如仰拱开挖时水量较大,则在左右拱脚处各增加 1 排降水管。超前水平真空降水系统布设见图 4。



图 3 台阶轻型井点降水施工图

图 4 超前水平真空降水系统工作中

3.3 重力深井真空降水

重力深井负压降水的目的是降低洞内作业区域地下水位,将仰拱底部的水进行负压抽排,以避免仰拱施工时底板渗水或积水浸泡造成隧底围岩软化,为仰拱施工创造有利条件。仰拱施工完后保留部分真空深井负压降水管继续降水,已成型隧道区域内降水根据实际情况依次进行封堵。

3.3.1 钻井工艺

成孔采用正循环工艺成孔,其工艺流程如下:测放井位→埋设孔口管→安放钻机→钻进成孔→清孔换浆→下井管→填砾料→井口封闭→洗井→安泵试

抽→排水。

3.3.2 降水井结构

降水井主要包含井管、滤水管、滤料、水泵、抽水管等结构,如图 5 所示。

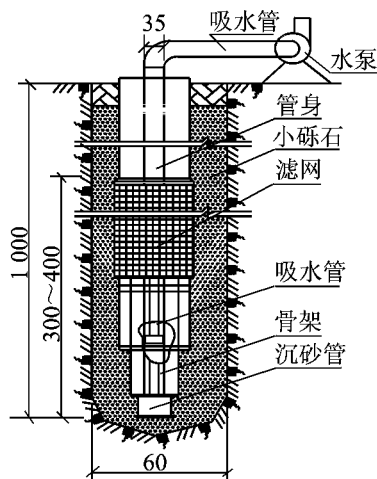


图 5 降水井结构示意图(单位:cm)

3.3.3 技术参数

降水井孔径 600 mm,井径 300 mm,井深 15 m,单侧间距 10 m,两侧交替布置。

3.4 地表深井降水

地表深井降水是在隧道地表设置降水井,通过井管内的潜水泵将地下水抽出,使地下水位低于隧道作业面。该法具有降水深、排水量大、对隧道施工干扰少、施工速度快等优点。地表深井应提前施作,对正洞路线前方富水地层提前降低地下水水位,降低洞内降水施工难度,与洞内降水施工措施共同发挥作用,改善富水粉细砂地层围岩条件。

3.4.1 钻井工艺

地表深井降水采用反循环钻成孔,钻孔直径为 600 mm,井管直径为 300 mm,井深 50~250 m。

3.4.2 技术参数

深井降水采用自然降水方式,布设于隧道洞顶。井底用桥式滤水管,管外采用 3 层包裹,内层为土工布,夹层包 200 目碳纤维滤网,井管采用厚壁钢管,滤料采用粗砂,封孔材料采用粘性土,封孔深度 4 m。

地表深井设置距正洞两侧 4~8 m,隧道单侧间距 20 m,两侧梅花形布置。

3.4.3 地表深井降水实施效果分析

(1)地表深井实施前、后洞内状态。在未实施地表深井前,3 号斜井洞内出水量 $1\,240\text{ m}^3/\text{d}$ 、5 号正洞出水量为 $660\text{ m}^3/\text{d}$ 、7 号洞内出水量 $870\text{ m}^3/\text{d}$,

围岩多数呈流塑状,施工过程中边挖边流,开挖及支护基本无法实施,流出的围岩造成初支背后空洞,易引起初期支护变形、掌子面溜滑,偶尔还遇到高压富水区段形成突水涌泥。以上状况不但造成施工进度受阻,且风险极高。实施地表井后,3号斜井洞内出水量减少到 $830\text{ m}^3/\text{d}$ 、5号正洞减少到 $420\text{ m}^3/\text{d}$ 、7号正洞减少到 $550\text{ m}^3/\text{d}$,股状压力水出现次数也明显减少,基本没有突水涌砂,掌子面围岩含水率降低,围岩在开挖后能保持一段稳定时间,基本能满足初支作业时间要求。

(2)地表深井实施前后进度统计分析。5号斜井正洞采用六部CRD法开挖。2013年4月~8月份地表井刚开始施工,尚未形成群井降水效应,月平均进度 8.2 m ;2013年9月~2014年3月,群井降水效应逐渐形成,施工进度逐步提升,月平均进度达到 20 m 。7号竖井2012年7月份竖井施工完毕,具备施工主洞条件,但施工中遇到管涌,无法进行主洞施工;2012年8月份开展地表深井试验,至2012年11月,降水效果逐渐显现,平均进度能达到 7.6 m ;经过5个月的连续降水,自2013年3月起,群井效应形成,正洞兰州方向在地表深井降水作用下,至2013年9月,平均进度能达到 20 m ;自2013年10月份起,进入深埋地段,当时深埋地段的地表深井试验尚未取得成功,洞内经常出现涌水涌砂,只能通过

单一洞内降水和注浆措施艰难推进,至2014年4月份平均进度为 8.6 m ;2014年5月份后,地表深井群井降水效应逐渐显现,至2014年10月份平均进度提升至 15.8 m 。

4 地层稳定与含水量的关系

4.1 含水率变化特征

4.1.1 开挖前后均未降水围岩含水率变化特征

对DK79+405④部砂岩含水率进行检测,结果显示:开挖 $0\sim 1\text{ h}$ 内,围岩基本保持原始状态,含水率约 14% 左右;1h后围岩状态发生变化,含水率开始快速上升,约3h后含水率达到 17% ,发生塑性变形,但围岩仍能保持基本稳定;5h后地层中水向开挖面汇集量大,含水率继续上升,变形加剧,约8h后含水率达到 32% ,围岩自然稳定能力差,工程性质恶化迅速,发生流变。含水率变化曲线如图6(a)所示,现场流变状态见图7(a)。

4.1.2 先开挖后降水围岩含水率变化特征

由于含水率较大,土体达到饱和状态,围岩发生流变,造成开挖困难,因此对DK79+406④部掌子面喷射砼封闭,施作真空轻型井点降水及超前水平真空降水,然后对DK79+406④部围岩含水率进行检测。结果显示,随着降水工作的开展,砂岩的含水率逐渐下降,降水16h后含水率达到 11% 左右,围

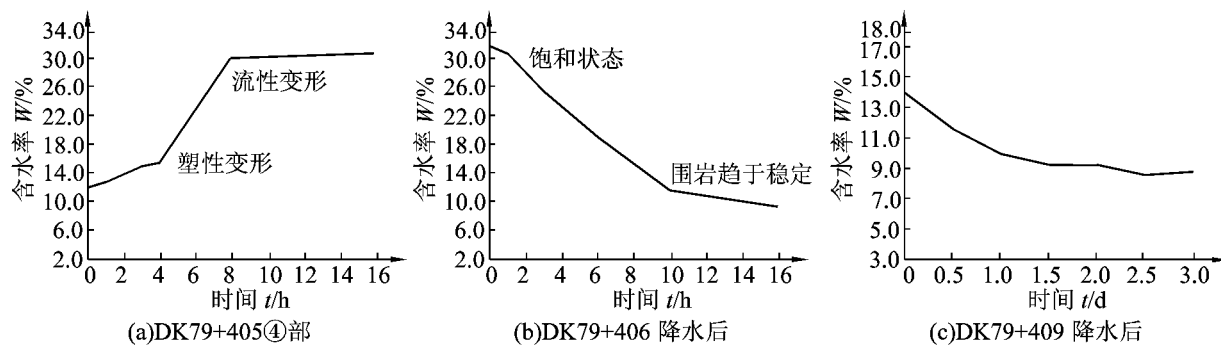


图6 含水率变化曲线



图7 现场状况

岩基本稳定。含水率变化曲线如图 6(b)所示,围岩情况见图 7(b)。

4.1.3 超前降水后围岩含水率变化特征

DK79+409④部先采用台阶真空轻型井点、超前水平真空井点和重力式深井真空降水,对超前降水后砂岩含水率进行检测,得出含水率与时间的关系。结果显示:通过持续超前降水 3 d,砂岩含水率保持在 10%左右,且变化幅度不大,围岩基本稳定。含水率变化曲线如图 6(c)所示,开挖后围岩情况见图 7(c)。

4.2 降水前后监控量测数据分析

分别在 DK79+405④部开挖前未降水、DK79+406④部先开挖后降水、DK79+409④部超前降水三种不同工况下,进行围岩监控量测,分析围岩变形速率与降水时机、含水率的关系。

4.2.1 围岩变形速率与降水时机的关系

DK79+405④部开挖前未降水状态下 30 d 拱顶沉降最大值达 200 mm,净空收敛最大值达 180 mm;DK79+406④部先开挖后降水状态下 30 d 拱顶沉降最大值为 140 mm,净空收敛最大值为 130 mm;DK79+409④部超前降水状态下 30 d 拱顶沉降最大值为 70 mm,净空收敛最大值为 80 mm。因此得出,围岩沉降收敛速率与围岩降水时机有直接关系,提早进行降水有利于控制围岩收敛速率,如图 8~图 9 所示。

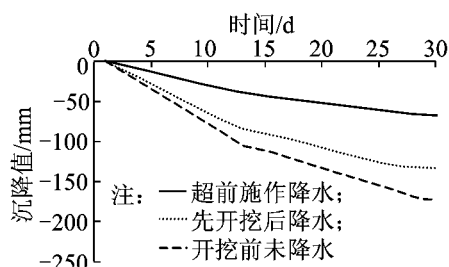


图 8 降水前后拱顶下沉量测对比

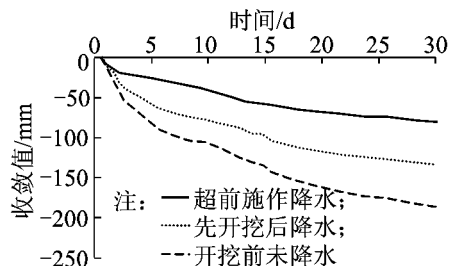


图 9 降水前后净空收敛量测对比

4.2.2 围岩变形速率与含水率的关系

以上三种不同工况下进行开挖支护施工,通过

分析得出,围岩收敛沉降速率与围岩含水率基本呈线性正比关系,在围岩含水率增大时围岩收敛沉降速率增大,如图 10 所示。

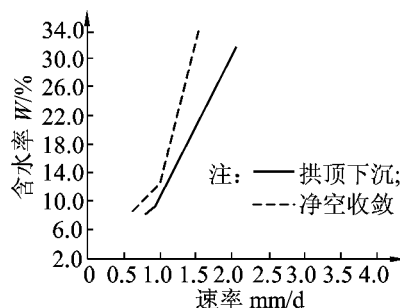


图 10 围岩变形速率与围岩初始含水率关系

4.2.3 降水前后施工进度对比

(1)在开挖前后均未进行降水施工的情况下,开挖支护施工极为困难。施工进度最快为 7.4 m/月,最慢为 0.5 m/月,平均月进度仅为 3.7 m/月。

(2)在先开挖后进行降水施工的情况下,开挖支护难度得到缓解,施工进度有所提高。施工进度最快为 10.9 m/月,最慢为 8.6 m/月,平均月进度为 9.4 m/月。

(3)在超前降水后开挖的情况下,围岩水害问题得到有效解决,施工进度显著提升且进度稳定。施工进度最快为 20.3 m/月,最慢为 18.1 m/月,平均月进度为 18.9 m/月。

4.2.4 地层稳定含水率的确定

(1)超前降水工作有利于超前改善围岩状态,可以有效的控制汗状渗水,同时减少围岩发生流塑状态的几率,增强围岩自稳能力。

(2)先施作超前水平降水再进行开挖施工,可以有效控制围岩沉降收敛,保证掘进施工安全。

(3)超前降水可以稳定控制围岩含水率不大于 11%,保证隧道正常掘进施工,显著提高施工进度。

由此可见,富水粉细砂地层隧道快速施工的首要问题是解决围岩的稳定性,即应尽力降低围岩的含水率。所以,在施工中应把降水作为该地层施工中首选的辅助工程措施,同时应综合多种降水措施超前改善围岩富水状态,为开挖支护施工创造有利条件。

5 综合降水应用效果

在经过治理后,围岩渗水现象得到有效治理。分析各种技术特点后认为:洞内超强水平真空降水

应在开挖前 3 d 进行,洞内分部台阶轻型井点降水及重力深井真空降水应随时跟进,洞外地表深井降水应超前 15 d 进行,可稳定控制围岩含水率在 10%~11% 范围,达到预期降水效果。

参考文献

- [1]张建法.圆梁山隧道粉细砂充填型溶洞钻孔注浆快速施工技术[J].隧道建设,2009,29(01):88-92
- [2]孙国庆,张民庆.圆梁山隧道粉细砂充填型溶洞注浆技术探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005(01):58-65
- [3]刘娟,王海江.水平旋喷桩在酸刺沟隧道拱顶支护中的应用[J].山西建筑,2009,35(28):318-319
- [4]毕焕军.胡麻岭隧道水敏性砂岩地下水渗流场模拟研究[J].铁道工程学报,2013(12):64-68
- [5]南深,张民庆.饱和动态含水砂层浅埋隧道施工中的注浆技术[J].世界隧道,2000(01):14-18
- [6]杨米加,陈明雄,贺永年.注浆理论的研究现状及发展方向[J].岩石力学与工程学报,2001,20(06):839-841
- [7]彭振华,闫朝涛,孟庆军.井点降水在富水粉砂地层隧道施工中的应用[J].西部探矿工程,2004(12):118-120
- [8]彭斌,攸巧仙.深圳地铁香车区间富水砂层施工[J].山西建筑,2003,29(01):94-95
- [9]海军.象山隧道富水围岩段施工方法[J].山西建筑,2009,35(03):316-317
- [10]吴生金.厦门翔安海底隧道穿越富水砂层施工技术[J].岩石力学与工程学报,2007,26(02):3816-3821
- [11]李芹峰,韩志友.砂性土中的地铁隧道防水治理试验[C]//隧道、地铁工程的结构防水与维护保养.昆明:中国土木工程学会隧道与地下工程分会防水排水专业委员会,2011:124-127,142
- [12]王庆林,刘晓翔.桃树坪隧道、胡麻岭隧道第三系富水粉细砂层围岩含水率与稳定性关系浅析[J].现代隧道技术,2012(04):1-5,16
- [13]陈德彪.兰渝铁路胡麻岭隧道第三系弱成砂岩蠕变特性试验研究[J].隧道建设,2013(08):659-663

On the Application of the Comprehensive Dewatering Techniques to Humaling Tunnel in the Rich-Watered Silty Sand Stratum

WANG Shengguo

(The 3rd Engineering Co. Ltd. of the 19th Bureau Group of China Railway, Shenyang 110000, China)

Abstract: The tertiary rich-watered fine sand stratum, where the Humaling Tunnel of the Lan-Yu Railway is located, has the complex and sensitive characteristics of water stability. After excavation begins, with time going on and the underground water made up continuously, the moisture content and the stability of the surrounding rock are remarkably changeable. Upon the basis of theoretical analyses and site tests, it is decided that inside the tunnel the light well-point dewatering by segment steps, dewatering by advanced horizontal vacuum, and the negative pressure dewatering by gravity-type deep wells are performed; outside the tunnel dewatering by ground gravity-type deep wells is carried out. Through testing the water content at the site, the relationship between the dewatering time and the moisture content of the surrounding rock is obtained, and thus the most favorable dewatering time for the tunnel construction in the rich-watered fine sand stratum is determined. Practice shows that in the course of supporting for excavation in the rich-watered fine sand stratum the inside-tunnel dewatering by advanced horizontal vacuum should be started 3 days before the excavation begins, and the inside-tunnel light well-point dewatering by segment steps and the gravity-type deep well and vacuum dewatering should follow at any time as required while the outside-tunnel ground deep-well dewatering should be started 15 days prior to the beginning of the excavation, with the moisture content of the surrounding rock steadily kept to 10%~11% so as to keep it up to the expected dewatering effect.

Key words: rich-watered fine sand; light well-point dewatering by segment steps; dewatering by advanced horizontal vacuum; negative pressure dewatering by gravity-type deep wells; dewatering by ground gravity-type deep wells

版 权 声 明

凡投稿本刊的文章,均视为同意本刊授权的合作媒体使用。本刊支付的稿酬已包含授权费用。

《国防交通工程与技术》编辑部