

大断面地下洞室收敛监测技术的改进与应用

李 跃 鹏, 孟 颖, 王 永 强

(中国电建集团 中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014)

摘要:通过分析各种收敛测量技术及其局限,提出了传统钢尺收敛测量技术的改进方案。给出了一种新型收敛测桩的结构及其安装操作方法,该新方案具有操作难度低、测量速度快、不影响测量精度等优点,能够实现10 m以上测距的收敛测量。据此提出了适用于大断面隧洞和大跨度地下洞室的收敛测量布置方案,同时给出了实际测量成果,证明新型收敛测桩能够满足测量精度要求。

关 键 词:地下洞室;收敛监测;测桩;钢尺收敛计

中图法分类号:TV554

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.16.010

新奥法施工技术的广泛应用,对推动隧洞和地下洞室的设计与施工技术进步具有显著的意义。该方法需借助对围岩的动态监测来指导隧洞开挖支护工作,对监测成果的及时性与可靠性要求较高。目前隧洞和地下洞室开挖初期围岩的变形主要采用收敛测量技术,面对越来越大的开挖断面和现场较差的测量环境,实际实施收敛测量的难度也随之加大。因此需要对传统收敛测量技术进行改进,以利于开挖和支护工作的顺利进行。

1 现有收敛测量手段及其局限

1.1 非接触式量测

近年来,非接触式测量围岩收敛的技术发展较快,比较典型的技术方案有高精度全站仪测量、无线遥测、近景摄影量测及光纤检测等,具有无损伤、高效、不影响施工等优点,尤其是在面对跨度较大的地下洞室收敛监测时,较接触式量测具有较明显的优势。但目前非接触式量测也有自身的不足,以应用较成熟的高精度全站仪测量技术为例,某项目计算得到的偶然坐标中误差为0.28 mm,仪器最大坐标误差为0.29 mm^[1],其测量精度勉强能达到亚毫米级。实际施测过程中,由于现场空气质量较差,标点容易受到污损,测量成果

往往会含有毫米级的波动,甚至会造成标点无法观测。

对于洞室收敛测量的观测精度,许多行业规范均有明确要求。例如,铁路行业规范要求,收敛测量净空变化精度不低于0.1 mm^[2];公路行业规范对收敛测量周边位移也提出了精度不低于0.1 mm的要求^[3]。因此就目前的技术水平来看,采用高精度全站仪进行收敛测量的观测精度还很难满足行业标准,而其他非接触测量手段的观测精度及测量稳定性更差,仅适合做安全预警,尚达不到新奥法要求的指导施工和设计调整开挖支护参数的程度。

1.2 接触式量测

主要有钢尺收敛计量测和巴塞特收敛测量系统。巴塞特收敛测量系统虽然能够实现自动化实时监测,但每个监测断面需利用多组高精度倾角传感器完成收敛测量,成本很高,在施工期应用较少。

钢尺收敛计量测法因其技术成熟、测量精度高、操作简单、成本低廉而被广泛采用。随着基础设施建设水平的提高,越来越多的地下工程采用了大跨度截面设计。在铁路、公路、水工以及地下油气储备等项目采用的地下洞室跨度达到10 m的项目层出不穷。对于大跨度地下洞室,在进行收敛量测时,测量人员不借助工具一般只能到达洞室的底部,而收敛测量的测点布

收稿日期:2015-06-25

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAK03B04);中国水电工程顾问集团公司科技项目(CHC-KJ-2010-13)

作者简介:李跃鹏,男,硕士,工程师,主要从事大坝与地下工程安全监测设计、施工和科研工作。E-mail:176871721@qq.com

置要求收敛测桩需分布于监测断面的拱顶、拱座及拱腰等相对较高的部位,在洞底部测量不但很难看清收敛测桩的位置,用于吊送钢尺收敛计挂钩的长杆也会发生很大的晃动,几乎无法完成将钢尺收敛计挂钩挂入收敛测桩这一动作。采用传统的圆环形收敛测桩,距测量人员超过 5 m 即会造成挂钩挂入的难度急剧增加,导致劳动强度陡增而无法正常开展监测工作。

2 新型收敛测桩

2.1 构造及加工

降低钢尺收敛计在大断面隧洞中的施测难度,可通过改良收敛测桩结构,使钢尺收敛计挂钩更容易挂入来实现。按照这一思路,提出了一种具有导向功能的新型收敛测桩,可以在保证传统圆环形收敛测桩定位精度的前提下,明显降低收敛计挂钩挂入收敛测桩的难度,提高测量人员操作速度。

新型收敛测桩的基本结构由锚固段、定位槽及导向杆组成,见图 1。锚固段一般选择带肋钢筋加工,定位槽及导向杆由表面光滑的圆钢通过折弯加工而成,可以选择不锈钢材质。定位槽折弯的形状采用带开口的圆环形,导向杆的形状应保持为直线,根据预计测线的长短,可在 5 ~ 35 cm 之间选择。锚固段与定位槽的连接可以通过螺纹紧固连接,现场加工困难时也可以采用搭接焊。

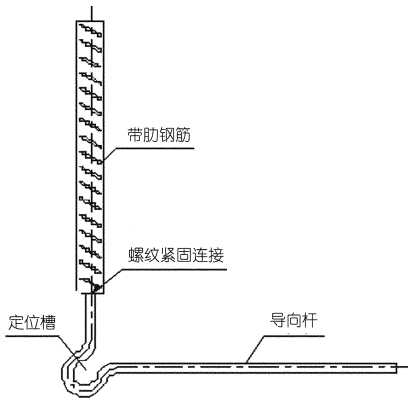


图 1 新型收敛测桩结构示意图

2.2 安装及操作方法

传统的圆环形收敛测桩仅能采取瞄准后一次挂入的方法,见图 2。采用新型收敛测桩,可以分解为多个简单动作完成挂钩的挂入,主要的步骤有:

- (1) 安装。将导向收敛测桩安装于被测部位。
- (2) 径向定位。利用碳纤维伸缩杆将收敛计挂钩的某一部位,例如挂钩内缘的直线段靠近导向杆,见图 3。
- (3) 竖向定位。利用碳纤维伸缩杆带动收敛计挂

钩运动,使收敛计挂钩沿导向杆竖向滑动,钩住导向杆。

(4) 轴向定位。利用碳纤维伸缩杆带动收敛计挂钩运动,使收敛计挂钩沿导向杆轴向滑动,挂钩滑动落入定位槽。

(5) 使用收敛计测量位移。

(6) 利用碳纤维伸缩杆将收敛计挂钩取回。

在步骤(2)及(3)操作过程中,如果恰巧已经实现了挂钩落入定位槽,则等价于完成步骤(4),可直接进入第(5)步。

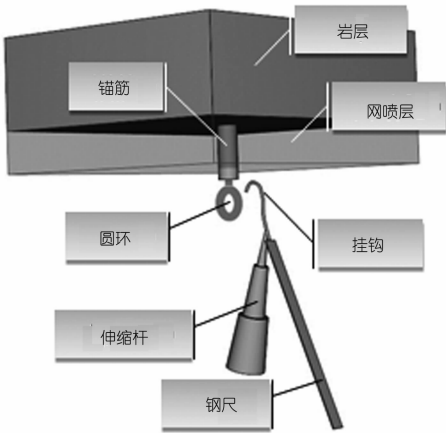


图 2 传统收敛测桩操作示意

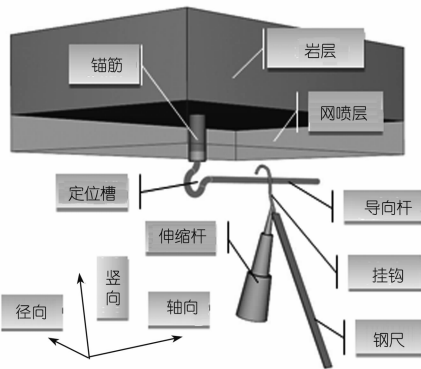


图 3 新型收敛测桩操作示意

需要说明的是,钢尺收敛计测量需要配合两个收敛测桩进行,上述步骤完成的是离测量人员较远的那支收敛测桩的挂钩定位动作,一般而言,另一支收敛测桩的安装位置较低,测量人员容易靠近,采用普通圆环形收敛测桩即可。

在导向收敛测桩安装时,为了减小测桩在爆破中被破坏的概率,充分发挥新型收敛测桩的导向作用,导向杆应保持水平安装,且应垂直、背对掌子面方向。对于测桩离施测人员较远的情况,收敛计挂钩的收回亦较为困难。实践表明,在使用收敛计测量的全过程如果使收敛计挂钩与碳纤维伸缩杆保持铰接,避免刚性连接,就能够既保证测量精度,又方便收敛计挂钩从收

敛测桩上收回。

2.3 优点分析

2.3.1 降低操作难度

收敛计挂钩通过传统圆环收敛测桩定位连接时需要在径向、竖向以及轴向 3 个方向同时调整,形成三维空间定位,在收敛测桩离测量人员较远的情况下,很难将收敛计挂钩调整到位,情形详见图 2。采用新型收敛测桩,可将三维空间定位分解为径向、竖向以及轴向 3 个步骤进行定位,每一个步骤仅需要在一个维度的空间内确定位置即可,详见图 3。更关键的是每一步骤完成时,收敛计挂钩会有非常明显的位置锁定,使得收敛计挂钩不能在该维度上继续运动,可以给测量人员非常明确的反馈。例如径向定位完成时,收敛计挂钩的内缘直线段会靠在导向杆上,使其不能继续径向移动;竖向定位完成时,收敛计挂钩会钩住导向杆,使其不能继续竖向移动,同时也不会径向移动;轴向定位完成时,收敛计挂钩落入定位槽,其在 3 个方向上均不能移动,从而完成挂入动作。可见,收敛计挂钩的挂入难度得到明显的降低。

2.3.2 提高操作速度

在收敛测桩离测量人员距离较远时,一般使用碳纤维伸缩杆将收敛计挂钩挑入收敛测桩。以测量人员距离收敛测桩 10 m 为例,此时碳纤维伸缩杆末端的晃动幅度可达 50 cm。也就是说收敛计挂钩会在长、宽、高为 50 cm 的三维空间内随机运动。传统收敛测点的内环直径一般不超过 2 cm,厚度不超过 1 cm,可视为收敛计挂钩处在收敛测点 3 cm^3 范围内才能完成挂入,而此时因为碳纤维伸缩杆末端的晃动范围可达 $125\ 000\text{ cm}^3$ ($50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$),相应挂入收敛测桩的概率仅为 $3/125\ 000$,即不到 0.003%,测量人员需要等待时间过长,难以接受,因此目前超过 5 m 洞径的收敛测量即需要配合爬梯、升降车等完成,涉及到高空作业,不但影响测量人员安全,长时间堵塞隧洞对洞内其他施工工作也造成了影响。而采用新型收敛测桩,同样收敛测桩距离测量人员 10 m,导向杆的长度为 30 cm 时,相对于 50 cm 的晃动幅度,径向定位成功的概率为 $30/50$,即 60%,而进行径向定位后,收敛计挂钩已经可以在碳纤维伸缩杆的带动下沿着导向杆滑动,因此不存在晃动问题,总的定位成功率依然可达 60%,据此采用新型收敛测桩,在收敛测桩距离测量人员 10 m 时,理论上其定位成功概率及速度为传统手段的 25 000 倍。

2.3.3 保证定位精度不变

传统圆环收敛测桩距离测量人员较远时,均会

显著降低测量速度,同时增加收敛计挂钩挂入的难度,往往通过加大内环直径解决。个别工程将内环直径提高到了 5 cm,相应 10 m 远的距离上定位成功的概率较 2 cm 内环直径的收敛测桩提高了 6~7 倍。但此时收敛计挂钩挂入传统收敛测点后,收敛计挂钩已经可以在收敛测点的圆环内发生明显的滑动,使得定位效果变差,传统圆环收敛测桩提高定位成功概率需要牺牲定位精度。采用新型收敛测桩,除在使用方法上已经大幅提高定位成功概率外,要进一步增强定位成功概率仅需增加导向杆长度,而无需更改定位槽的尺寸,因此其定位精度得到了保证。

3 施测方案研究

3.1 大断面隧洞

采用新型收敛测桩可显著提高大断面收敛测量的速度,扩展钢尺收敛计的应用范围。得益于新型收敛测桩增加测距后仍能保证定位精度这一优势,经过实践检验,对 10 m 左右的隧洞实施收敛观测已无困难。面对更大断面的隧洞时(如世界上超大盾构隧道之一的钱江隧道,其直径为 15 m^[4];目前世界上规模最大的水工隧洞的锦屏二级电站引水隧洞,其直径为 13 m^[5])相信在做好远距离照明工作,订做更长的碳纤维伸缩杆情况下,收敛测距达到 15 m 应无困难。因此,钢尺收敛计应用于大断面隧洞收敛测量面对的主要问题是测点布置对施测便利性的影响。

钢尺式收敛计监测隧洞围岩变形,有多种测线布置形式,一般采用倾斜测线和水平测线组成测线网来观测隧洞的变形。对于倾斜测线,两个测点是采用一高一低的布置,只要较低的测点能保证测量人员容易到达,即可利用新型收敛测桩完成大测距的测量。对于水平测线,如果两个测点安装位置均较高,则难以施测。因此在进行全断面测量时,要避免采用含有较高水平测线的网型。适用于隧洞全断面收敛观测的网型如图 4~6 所示。

3.2 大跨度地下洞室

地下油气储备洞室,其断面跨度一般为 20 m 左右,高度为 30 m 左右,而水工地下发电厂房,断面跨度一般在 20 m 以上,高度可达 50 m 以上。利用钢尺收敛计进行 20 m 以上的测量,会因碳纤维伸缩杆过长过重而难以操作。大型地下洞室一般是采用分层开挖的施工工序,每层的工期较长,全部完成开挖需 1 a 以上的时间。当开挖深度增大,钢尺收敛计测量将面临很大困难,一般仅用于地下洞室的初期变形监测,条件具备后可采用多点位移计等内部变形监测仪器长期监测

围岩变形。因此钢尺收敛计应用于大跨度地下洞室收敛测量时,测点布置需适应洞室结构特点和开挖分层方案,同时需考虑能够与长期监测仪器相互配合。

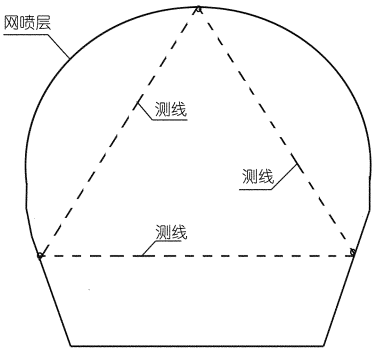


图 4 3 测点收敛监测断面

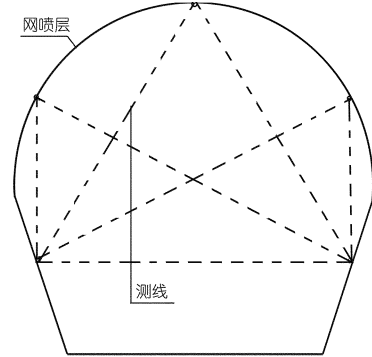


图 5 5 测点收敛监测断面

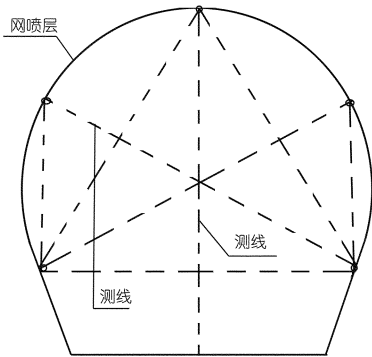


图 6 6 测点收敛监测断面

钢尺式收敛计观测大型地下洞室围岩变形,需同时保证倾斜测线的长度和水平测线的高度不能过大。图 7 展示的是某水工地下厂房的围岩变形监测断面布置,图中同时反映了各开挖分层线。该厂房断面最大宽度 25.5 m,高度 54 m,中导洞及 I 层开挖完成后,地面距拱顶 10 m,距水平测线 1 m,采用新型收敛测桩布置在拱顶及拱座,能够完成初期围岩变形的测量工作。厂房继续开挖后, I 层布置的多点位移计已安装完毕,多点位移计的孔口位于收敛计附近,可继续通过多点位移计观测顶拱的位移。 I 层以下布置 3 条水平收敛测线,均高于主要开挖层面 1 m,方便进行收敛观测。

通过与多点位移计的配合,共同完成地下厂房在施工期各阶段的位移测量工作。

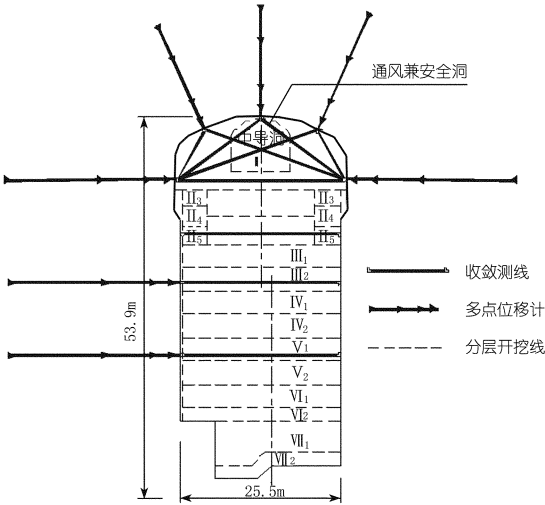


图 7 某地下厂房的围岩变形监测断面

4 实际应用成果

按图 4 的形式在一个洞径为 9.5 m 的水工隧洞内布置收敛测量断面,混合使用传统圆环收敛测桩和新型收敛测桩。传统收敛测桩安装在隧洞内较低部位,同时,新型收敛测桩安装在隧洞顶部。

从图 8 的实测收敛曲线来看,各测线测值波动的差值不大,表明新型收敛测桩的定位精度与传统收敛测桩相近。其中 1~3 这条测线由于位置较低,是全部采用传统收敛测桩进行观测的,而 1~2 及 2~3 两条测线混用两种收敛测桩,两种收敛测桩的测值在隧洞本身变形稳定后波动幅度相近,数据平滑性均很好,表明新型收敛测桩的定位精度与传统收敛测桩接近。

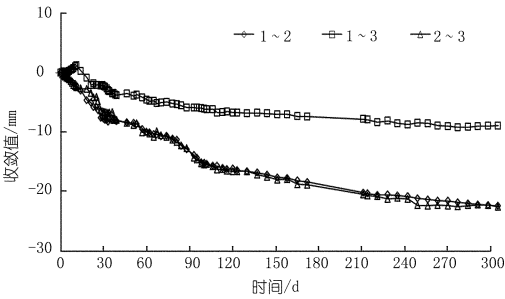


图 8 典型收敛监测断面实测历时曲线

5 结语

钢尺收敛计具有低成本、高精度等特性,在引入新型收敛测桩后,弥补了传统收敛监测在大断面下实施困难的劣势,扩展了钢尺收敛计测量的应用范围。希望通过本文的抛砖引玉,充分利用现场实际条件,逐步突破钢尺收敛测量的最大测距,取得高精度监测成果,

为工程建设服务。

参考文献:

- [1] 王法岭,顾建林.隧道围岩收敛自动化量测方法[C]//2003年全国公路隧道学术会议,2003.
- [2] TB10204 铁路隧道施工规范[S].
- [3] JTGF60 公路隧道施工技术规范[S].

- [4] 潘学政,陈国强,彭铭.钱江特大隧道盾构推进段施工风险评估[J].地下空间与工程学报,2007,(S1):1245-1254.
- [5] 吴世勇,王鸽.锦屏二级水电站深埋长隧洞群的建设和工程中的挑战性问题[J].岩石力学与工程学报,2010,(29):2161-2171.

(编辑:赵凤超)

Improvement and application of convergence monitoring technology of underground cavern with large cross section

LI Yuepeng, WANG Yongqiang, WANG Mengying

(PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

Abstract: Through the analysis of the convergence monitoring technology and its limitations, the improvement of the traditional measurement technology by extensometer was put forward. A new convergence monitoring pile is introduced and so are the structure, installation and operation method, the new scheme has the advantages of convenient operation, quick measuring and high measurement precision. The monitoring of the convergence of above 10 m measurement distance can be realized. Accordingly, we put forward the convergence measurement scheme for the tunnel with large section and underground cavern with large span, and obtain the actual measurement results, which prove that the new convergence monitoring pile can meet the requirements of measurement accuracy.

Key words: underground cavern; convergence monitoring; monitoring pile; extensometer

(上接第13页)

简单,计算方便,评价结果避免了主观定性的局限,更加客观合理,在水资源承载能力评价中具有推广应用价值。当然,由于经济社会的发展和环境的变化,水资源承载能力涉及的各种因素都在变化,集对分析法无法反映指标之间的内在变化规律,在评价时需要结合其他方法来确定指标的综合权重进行评价。

参考文献:

- [1] Harris Jonathan N. et al. Carrying capacity in agriculture: globe and issue[J]. Ecological Economics, 1999, 129(3): 443-461.
- [2] Munther J. Haddadin. Water issue in Hashemite Jordan[J]. Arab Study Quarterly, 2000, 22(5): 54-67.
- [3] 袁鹰,甘泓,王忠静,等.浅谈水资源承载能力研究进展与发展方向[J].中国水利水电科学研究院学报,2006,4(1):63-66.
- [4] 周琳,金辉.主成分分析法在江门市水资源承载力研究中的应用[J].人民珠江,2007,38(5):39-42.
- [5] 杨广,何新林,李俊峰,等.基于物元模型的干旱区水资源承载力

评价研究[J].人民长江,2009,40(21):52-54.

- [6] 常进,赵小勇.PPC模型在水资源承载能力评价中的应用[J].人民黄河,2013,35(9):71-73.
- [7] 赵克勤.集对分析及其初步应用[M].杭州:浙江科技出版社,2000.
- [8] 孟宪萌,胡和平.基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J].水利学报,2009,40(3):257-262.
- [9] 赵学敏,胡彩虹,王永新.综合利用水库工程方案评价的集对分析法[J].水利发电,2009,35(3):11-13.
- [10] 施雅凤,曲耀光.乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M].北京:科学出版社,1992.
- [11] 许有鹏.干旱地区水资源承载能力综合评价[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.
- [12] 陈洋波.水资源承载能力研究中的若干问题探讨[J].中山大学学报:自然科学版,2004(S),43:181-185.

(编辑:常汉生)

Evaluation of water resources carrying capacity based on set pair analysis

DAI Tao, ZHOU Dongni, ZHANG Hu

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Based on the analysis of the definition of the water resources carrying capacity, according to the measuring demand of the sustainable water resources utilization, the evaluation index system of water resources carrying capacity is constructed from three aspects of social economic system, ecological environment system and water resources system by combining the quantitative and qualitative methods, and a five-grade assessment standard is put forward. According to the evaluation system, the set pair analysis model for evaluating the water resources carrying capacity is established, and the superiority of the system is analyzed. Finally, Gaochun District of Nanjing City is studied by the presented model, which provides a new method for the evaluation of the water resources carrying capacity.

Key words: water resources carrying capacity; evaluation; set pair analysis; index system