

浅谈压触连通式防脱空传感器在隧道衬砌脱空监测中的应用

唐波

中铁十五局集团第三工程有限公司

摘要：为预防铁路隧道衬砌产生脱空，在衬砌浇筑与回填注浆过程中，利用信息化设备进行全过程监测，更能有效保证隧道衬砌实体的施工质量。本文以成自铁路项目某隧道施工为例，介绍压触连通式防脱空装置在隧道衬砌脱空监测中的应用。

关键词：隧道衬砌；脱空监测；应用方向

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.17.047

引言

近年来高速铁路建设突飞猛进，尤其在西部地区，隧道在线路中的比重较大；隧道复合式衬砌结构作为重要的安全屏障，与高速铁路能否正常运行有着紧密联系；按照新奥法的设计理念，隧道衬砌与围岩紧密贴合，共同受力变形，若隧道衬砌背后存在脱空，将导致衬砌产生裂纹，给后期运营带来安全隐患。

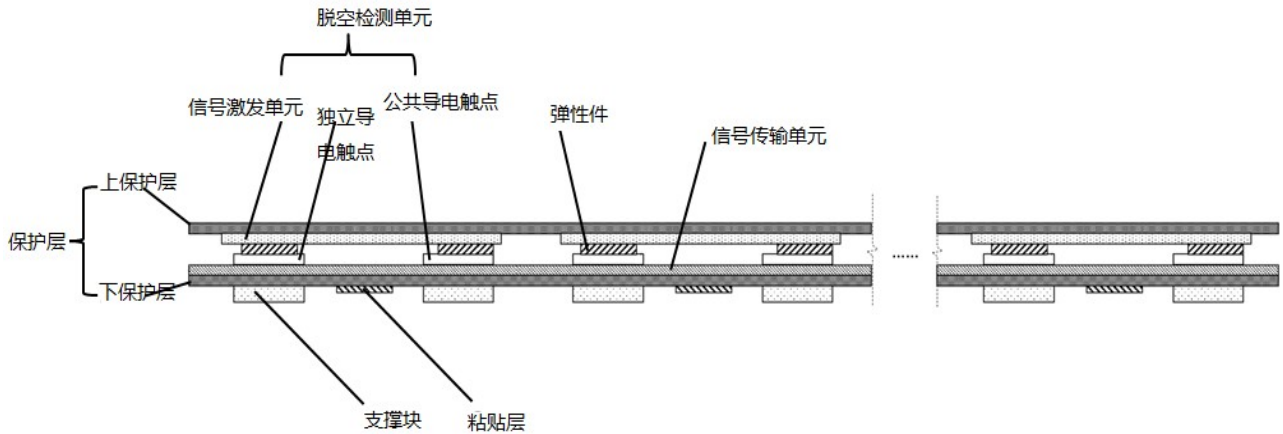
为保证高速铁路在运营过程中，隧道衬砌结构始终处理稳定状态，通过利用信息技术平台，对铁路隧道施工传统管理模式进行优化，以数据反馈方式对隧道衬砌浇筑、回填注浆全过程进行监测，可大幅改善衬砌脱空的难题。

一、压触连通式防脱空传感器设计原理、结构形式及应用

(一) 设计原理

目前隧道衬砌脱空监测常用方法有两种，第一种较难确定脱空的位置和范围，即利用混凝土在液态状态下的导电性进行检测；第二种需对储存的数据进行分析、计划，方可获得脱空位置，整个检测过程的判断方法较为繁琐，即通过混凝土压力使压力感应器获得压力数据；以上两种方式在隧道衬砌脱空监测方面，实际应用效果均不佳；压触连通式防脱空传感器经运用、实践，实际所达到的效果优于以上两种检测设备。

压触连通式防脱空传感器埋设于初期支护与隧道衬砌之间，在浇筑衬砌过程中，利用衬砌混凝土对防水板产生的压力，使埋设在防水板与土工布之间的脱空检测单元产生电信号（独立导电触点与公共导电触点相互串联并同时独立接收电信号），电信号通过指示灯由红变绿来判定该检测单元处混凝土的密实性。压触连通式防脱空传感器仅在衬砌混凝土密实时，脱空检测单元处信号激发单元才会产生电信号，该装置大大降低了误报率，提高了隧道防脱空监测的可靠性。



压触连通式防脱空传感器结构示意图

(二) 结构形式及应用

脱空检测单元嵌于上、下保护层内，脱空检测单元的细部结构组成如上图所示；公共导电触点与独立导电触点之间的间隙随衬砌浇筑时的压力增大而减小；导线、信号激发单元、导电触点共同组成闭合电回路；脱空检测单元所激发的信号相互独立，并在信号点设置发光元件，当电回路接通时即可发光，以直接的视觉感官方式，使施工作业人员对隧道衬砌浇筑、回填注浆、后

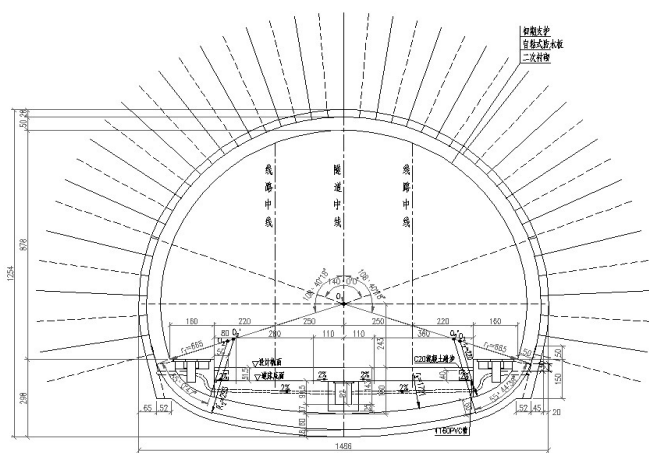
期脱空处理有更清晰的判断。

在隧道衬砌混凝土浇筑或拱顶回填注浆时，混凝土对防水板产生压力，使防水板与土工布之间的信号激发单元接受混凝土压力，并传递至公共导电触点，使公共导电触点逐渐向独立导电触点靠近；当公共导电触点与独立导电触点联通后即形成电回路时，即产生电信号，表示该脱空检测单元处的混凝土已处于密实状态，不存在脱空。

二、工程实例

(一) 工程概况

新建成自高速铁路某隧道地处四川盆地中部，属丘陵地貌，高程373m~446m，高差约为73m，局部较陡，隧道最大埋深约47m，自然坡度10~40°，砂岩裸露地段多为悬崖峭壁；隧道全长210米，全隧暗洞部分均采用Vb型复合式衬砌（初期支护、防水隔离层、二次衬砌），为预防、减少衬砌产生脱空，初期支护与二次衬砌之间铺设防水板+压触连通式防脱空传感器+土工布，对隧道衬砌浇筑与回填注浆施工全过程进行监测。

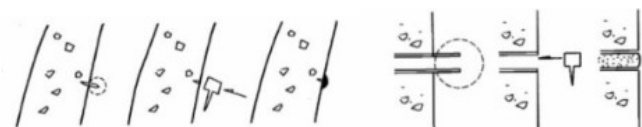


Vb型复合式衬砌断面图

(二) 监测设备安装

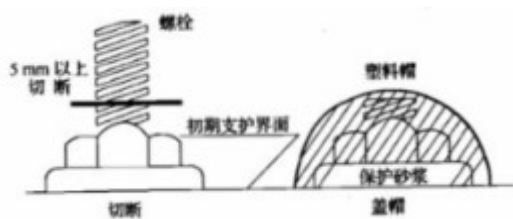
安装流程：初支面清理→土工布挂设→压触连通式防脱空传感器安装→防水板挂设→钢筋安装→二衬浇筑、回填注浆过程监测

初支面清理：防水板是隧道防水的重要屏障，其铺设质量直接影响防水效果，同时亦避免对压触连通式防脱空传感器损坏，铺设防水板的基面需达到平整、无突出异物，作为保证铺设质量的首要条件；对基面存在钢筋网、注浆管头、锚杆头的处理，可按下图方式：先切断、遮盖或铆平后，用砂浆或喷混凝土找平。



钢筋网处理

注浆管头处理

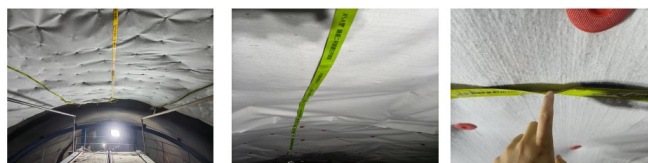


锚杆头处理

土工布挂设：土工布挂设与初期支护基面密贴，

采用热熔垫圈固定土工布，固定点位间距拱部不大于50cm、边墙不大于80cm，热熔垫片必须与磁焊枪相匹配；土工布铺设从拱部向两侧边墙进行，下部土工布压住上部土工布，松紧应适度按实铺长度与弧长10:9进行控制，搭接固定前（搭接长度不小于15cm）优先将两幅土工布铺挂定位，同时衬砌施工缝处预留长度不小于50cm。

压触连通式防脱空传感器安装：传感器安装前、后，必须由专人利用移动显示终端对脱空监测单元进行检测合格（逐点按压脱空检测单元，终端显示灯由红变绿，即代表传感器检测合格）；结合工程实际情况，沿隧道拱顶纵向或拱圈环向布设分布式压密传感器，布设数量可一条或多条布设，以实现单一或多种功能的监测；该传感器为自粘式，通过自粘块或魔术贴固定在土工布上，同时避开热熔垫圈，并于施工缝处将终端接头外露。



防水板挂设：防水板铺设前在洞外检查防水板材料是否有破损，防水板固定松紧度按实铺长度与弧长10:9进行控制，防水板采用双缝热熔搭接焊连接，单条焊缝宽度不小于15mm，焊接完成后采用充气法对焊接质量进行检查；每板防水板铺挂过程中、完成后，均需对压触连通式防脱空传感器进行连通功能性检查，以确保传感器功能实现。

钢筋安装：衬砌钢筋垫块安装时，避开环、纵向防脱空传感器，同时钢筋安装过程中、完成后，对压触连通式防脱空传感器的功能性检测方式同上。

二衬浇筑、回填注浆过程监测：因每条传感器有30个压力监测点，当压力监测点受到持续压力时，终端显示灯才会由红转绿，转绿即代表该脱空检测单元范围内混凝土已密实或注浆已饱满；我标段隧道二衬混凝土封顶、回填注浆使用该传感器效果如下图（注：图中右侧最后两红色方块为压力传感器外露施工缝部分）。

根据上述观测数据可以看出，压触连通式防脱空传感器能够有效监测衬砌脱空情况，减少衬砌脱空缺陷整治，为后期隧道安全运营提供了保证。

三、结语

压触连通式防脱空传感器在铁路隧道衬砌浇筑与回填注浆中的应用，是衬砌脱空信息化监测的一种新型装



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-1左



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-2中



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-3右

衬砌混凝土封顶后终端显示 (红色代表脱空)



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-1左



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-2中



工点名称: 横洞 任务名称: 2横-1-3右

衬砌混凝土回填注浆12h、24h、48h、72后终端显示 (红色代表脱空)

置, 该装置布置形式简单、实用性强且监测效果优良、直观, 能有效保证了衬砌实体的施工质量和运营安全, 对隧道衬砌防脱空有推广应用价值。

参考文献

[1] 《时速350公里双线隧道复合式衬砌》成自施隧附01
 [2] 《高速铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10753-2018
 [3] 《地下防水工程质量验收规范》GB 50208-2011; 中华人民共和国住房和城乡建设部; 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局; 2011-04-02
 [4] 《高速铁路隧道工程施工技术规程》Q/CR

9604-2015
 [5] 隧道防脱空检测装置CN202121564907.2 关有贵; TILITY.MODEL; 2021-07-07 00: 00: 00.0000000
 [6] 牛作峰. 关于大断面浅埋高速铁路隧道施工的关键技术探讨[J]. 价值工程, 2021-03-18.
 [7] 周中财. 铁路运营隧道隐伏病害无损检测方法研究[J]. 建筑技术开发, 2018-09-28.
 [8] 王艳琴, 王进. 高速铁路工程质量管理与控制研究[J]. 商品与质量; 2016-09-13.
 [9] 邵帅, 伍毅敏, 郝广伟, 徐文浩. 基于分布式压密传感器的隧道衬砌防脱空主动监测[J]. 隧道建设(中英文), 2019-04-16.