

充浆式止浆器的研究和应用

庞锐剑 雷欢 谢锦

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:南宁五象新区核心区商务街基坑(边坡)支护工程使用的锚索止浆器具有止浆孔径大、止浆压力高等特点,造成止浆器与锚索体连接困难,现有的锚索止浆器结构难以满足该工程的要求,为确保工程能顺利实施,根据该工程的特点,设计了一种充浆式止浆器。并通过试验对其性能进行了验证,能够解决该工程的技术难题,可在工程上大批量推广使用。

关键词:锚索 止浆器 结构 性能

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.02.007

概述

随着预应力锚索在岩土工程中的广泛应用,止浆器的作用越来越受关注,岩土工程对锚索止浆器结构性能要求也越来越高。止浆器一般安装在内锚固段与自由段的分界处,目的是保证内锚固段注浆饱满^[1]。现有工程使用的锚索止浆器大部分是布袋式充浆结构,这类止浆器均与锚索共用一套灌浆管路^[2],具有结构简单,成本较低,安全可靠等特点,可满足一般工程使用要求,得到了岩土工程的广泛青睐。但是对于一些锚索孔位(钢绞线根数)较大、止浆能力要求较高的工程,布袋充浆结构止浆器仍需要从结构上及材料上进行合理设计和选用,以确保其在工程使用中的安全和可靠。本文从止浆器结构,止浆袋材料及砂浆等方面进行创新设计,研制能够满足大孔位,高止浆压力要求的充浆式止浆器。

1 项目背景

南宁市五象新区核心区商务街项目位于广西南宁市平乐大道与宋厢路交汇处西侧(广西规划馆附近),总用地面积173316.54m²,总建筑面积为879030.73m²。基坑(边坡)支护包括永久性支护(支护结构设计使用年限50年)及临时性支护(支护结构设计使用年限2年),永久支护段总长约820m,边坡工程安全等级为一级,临时支护段总长约1080m,基坑侧壁安全等级为一级,为广西最大的岩土边坡锚索支护工程。锚索索体采用极限强度为1860MPa、公称直径为 ϕ 15.2mm高强度低松弛无粘结预应力钢绞线。支护要求采用

拉力集中型、拉力分散型锚索体系;压力集中型、压力分散型锚索体系。本文针对该项目要求,对使用的止浆器进行改良结构设计,并通过试验验证了止浆器的可靠性。

2 工程锚索的要求

南宁五象新区核心区商务街基坑(边坡)支护工程对锚索的主要要求包括:

- (1) 锚索钻孔孔径为 ϕ 220mm;
- (2) 锚索采用二次高压注浆工艺,一次注浆压力0.5~1.0MPa,二次高压注浆压力1.5~5.0MPa(在一次注浆2h后进行);
- (3) 锚索均配套止浆器,设置在距孔口3.00m左右,并牢固安置在锚索体上;
- (4) 锚索孔位最小3孔、最大16孔;
- (5) 根据工程地质情况,钻孔施工采用跟套管钻孔,套管内径最小直径为 ϕ 180mm。

经对以上要求进行分析,与该工程配套的止浆器将存在以下几个方面的难点:

- 1) 止浆孔径大(普通锚索孔径一般为 ϕ 150mm以下);
- 2) 止浆压力高(普通锚索止浆压力一般为0.5MPa左右);
- 3) 止浆器与锚索体的连接、安装困难(套管内径最小为 ϕ 180mm,锚索最大孔位为16孔)。

3 止浆器的结构及原理

3.1 止浆器结构

综合考虑止浆器的安全可靠性和成本经济性

等因素,项目组开发了一种充浆式止浆器,如图1所示。其结构包含两大部分,一部分是止浆器与锚索体之间的内部止浆结构,另一部分是止浆器与锚索孔壁之间的外部止浆结构。

由于16孔是该工程使用的最大规格锚索(对止浆器设计要求最高),所以本文以16孔锚索配套的止浆器为代表,进行结构设计及试验研究。止浆器结构如图2、图3所示,包括:前止浆环、铁丝、止浆袋、注浆筒、砂浆、后止浆环,其中前止浆环、后止浆环与注浆筒通过焊接组装。环氧砂浆注满注浆筒。止浆袋用铁丝固定在前止浆环和后止浆环的绑扎槽上。

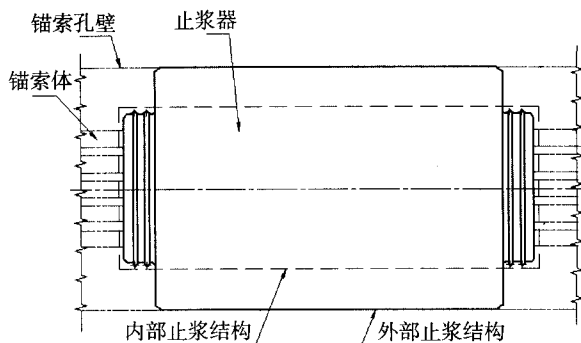


图1 止浆器示意图

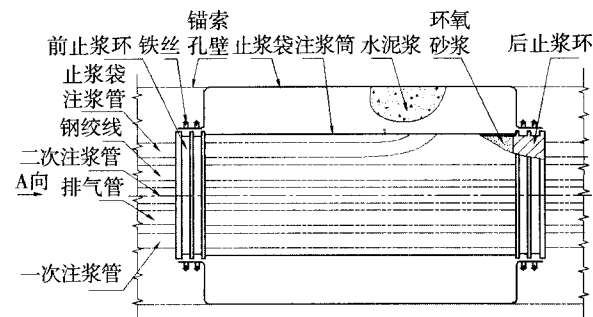


图2 止浆器结构图

A向(去除止浆袋、铁丝、水泥浆)

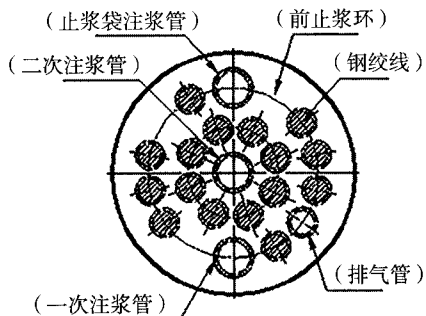


图3 止浆器结构图

3.2 止浆器工作原理

把钢绞线、止浆袋注浆管、一次注浆管、二次注浆管、排气管,按设计要求的位置穿入止浆器的前止浆环和后止浆环;向注浆筒灌注满砂浆,振动注浆筒,确保砂浆填满锚索体各部件之间的间隙,完成止浆器与锚索索体之间止浆,及止浆器的定位。待砂浆凝固达到使用强度后,安装止浆袋,用铁丝把止浆袋牢固绑扎在前止浆环和后止浆环的绑扎槽上。锚索下索到位后,向止浆袋注浆管灌注水泥浆(压力1.0MPa~1.5MPa左右),水泥浆进入止浆袋迫使其胀开与锚索孔壁贴紧,完成止浆器与锚索孔壁之间止浆。然后进行锚索的一次注浆、二次注浆等后续工序(注:锚索的注浆与止浆袋注浆采用独立注浆体系,互不干涉)。

4 止浆器的性能试验研究

4.1 止浆器内部止浆试验

止浆器与锚索体之间的密封通过止浆器注浆筒的砂浆实现。所以选用的砂浆应具备良好的流动性、足够的凝固强度、适宜的凝固时间,以确保密封止浆器与锚索体部件之间存在的间隙,实现止浆器定位,方便工程施工。

本文选取3种工程常用的砂浆(其性能参数如表1所示)进行对比试验。

表1 砂浆参数表

名称	重量配比(水:灰)	流动度	初凝时间	终凝时间
ZH砂浆料	0.16 : 1	20~40s	≥3h	≥8h
ZH-3高强度灌浆料	0.16 : 1	≥340mm	≥2h	≥7h
ZH-8预应力孔道灌浆料	0.28-0.32 : 1	≤18s	≥5h	≥7h

对止浆器穿好锚索部件,按配比要求搅拌均匀砂浆,向止浆器的注浆筒分别灌注不同型号的砂浆,记录砂浆与锚索部件的止浆效果,试验结果如表2所示。

表2 砂浆止浆试验结果

砂浆类型	第一组	第二组
ZH砂浆料	●	●
ZH-3高强度灌浆料	●	●
ZH-8预应力孔道灌浆料	○	○

注:●—表示不漏浆,○—表示漏浆。

从实验结果可以看出, ZH砂浆料与ZH-3高强度灌浆料均可满足止浆器与锚索体的密封, 且终凝时间仅8小时左右, 可满足工程使用的需要。而ZH-8预应力孔道灌浆料由于水灰比较大, 因而流动性大, 砂浆较稀, 容易从止浆器与索体部件之间的间隙漏浆, 不能满足要求。

4.2 止浆器外部止浆试验

止浆器与锚索孔壁之间的密封通过止浆袋充浆膨胀来实现。所以止浆袋的材质、止浆袋与止浆环之间的绑扎槽结构是影响止浆器外部止浆的主要因素。

4.2.1 止浆袋材质选择

(1) 止浆袋的材质应具备足够耐磨特性, 以保证锚索下索过程中不被划破; 同时满足一定耐压力, 确保注入有压力的浆体后, 止浆袋能与锚索孔壁紧密贴合。根据以往经验, 本文选用止浆袋的材质为长丝无纺土工布, 其性能参数如表3所示。

表3 长丝针刺无纺土工布材质参数

规格	厚度	断裂强力	撕破强力	断后伸长率	CBR顶破强力	等效孔径090
g/mm ²	mm	kN/m	kN/m		kN/m	mm
600	4.3	横向31.2 纵向31.7	横向0.86 纵向0.91	58.3~59.9	5.9	0.10

(2) 止浆袋一般用土工布缝制而成, 为确保止浆袋注浆时缝口不裂开, 缝合接口必须具备足够的强度。本文缝制要求为: 用2股尼龙线车缝, 车缝针距为2mm, 车缝线间距为5mm。

4.2.2 止浆试验

(1) 止浆袋是通过铁丝绑扎在止浆器的前止浆环和后止浆环上的绑扎槽上, 所以铁丝要求大小适宜, 便于绑扎牢固, 本文采用13号或14号铁丝双股绑扎。

(2) 绑扎槽的形式对绑扎效果影响很大。受径向尺寸限制, 止浆环的绑扎槽深度 ≤ 5 mm, 本文设计三种形式的绑扎槽进行了试验研究, 如图4所示:

- ① V型槽: 深5mm、宽7mm;
- ② 矩形槽: 深5mm、宽16mm;

③ 矩形槽+V型槽: 深4mm、宽16mm矩形槽深+1mm、宽1.4mm V型槽;



图4 绑扎槽结构图

对三种不同形式绑扎槽的止浆器, 向止浆袋注入压力为1.5MPa的水泥浆, 止浆袋绑扎效果记录如表4所示。

表4 止浆环绑扎试验结果

绑扎槽类型	第一组	第二组	第三组	第四组	第五组
V型槽	×	×	×	√	×
矩形槽	√	√	×	√	√
矩形槽+V型槽	√	√	√	√	√

注: √—表示不滑脱, ×—表示滑脱。

从实验结果来看, 绑扎槽结构采用矩形槽+V型槽相结合的方式最合适, 止浆效果最好, 原因分析如下:

(1) 理论上V型槽具有锁紧定位作用, 但由于受止浆环绑扎槽深度、止浆袋厚度及绑扎褶皱的影响, 造成绑扎时铁丝不能卡入绑扎槽内, 导致绑扎效果不理想;

(2) 矩形槽槽宽较大, 可以克服V型槽上述不足, 但由于不具备锁紧定位作用, 所以偶尔会发生滑脱, 造成漏浆;

(3) 矩形槽+V型槽形式可以综合前两种结构的优点, 增加止浆袋与绑扎槽的摩擦阻力, 使绑扎牢固可靠。

4.2.3 止浆模拟试验

止浆模拟试验如图5所示, 以孔壁内径 $\phi 220$ mm钢管进行模拟锚索孔壁, 验证止浆器的止浆压力。把止浆器安装到锚索的设计位置; 向注浆筒灌满ZH-3高强度灌浆料; 待浆体达到凝固时间和强度后, 绑扎止浆袋(止浆环绑扎槽为矩形槽+V型槽结构); 将锚索穿入内径 $\phi 220$ mm钢管内; 向止浆袋注入压力水泥浆体, 观察止浆袋与钢管内壁的贴合效果; 加压至1.5MPa时, 观察止浆袋是否滑脱或破坏; 然后加压直至止浆袋滑脱或破裂, 记录最大注浆压力, 并拍照记录止浆袋破坏形式; 拆除破坏的止浆袋, 冲洗干净止



浆袋注浆管，安装止浆袋，重复试验三次，试验结果如表5所示。

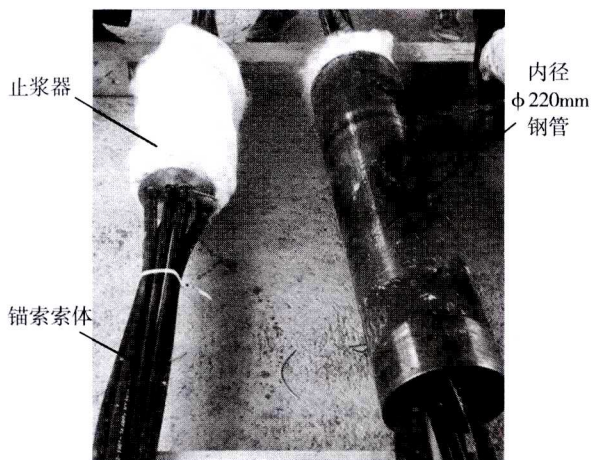


图5 止浆器工程应用模拟试验

表5 止浆模拟试验结果列表

试验组数	加压至1.5MPa时是否滑脱或破坏	破坏时的注浆压力 (MPa)
第一组	否	2.5
第二组	否	3.5
第三组	否	2.8

实验结果显示，三组试验止浆袋加压至1.5MPa时，止浆袋与孔壁贴合紧密，止浆袋浆体密实，止浆袋均未滑脱或破坏；三组试验止浆袋破坏时注浆压力均 ≥ 2.5 MPa，满足止浆袋实际工程应用耐压力1.0~1.5MPa的要求。

5 工程应用试验及应用

5.1 工程应用试验

工程应用试验是为了验证止浆器工程实际应用的可靠性和安全性，只有工程试验满足要求后，才能进行工程应用。止浆器工程实际应用试验如图6所示，把完成止浆器与锚索体止浆固定的锚索穿入 $\phi 220$ mm锚索孔道中；向止浆袋注浆，压力加压到锚索实际使用压力1.0MPa~1.5MPa，观察止浆袋与锚索孔壁的贴合效果；进行一次注浆（压力0.5MPa~1.0MPa）；一次注浆完成2小时后，进行二次高压劈裂注浆（压力 ≥ 3.0 MPa），记录止浆袋注浆压力、一次注浆压力、二次注浆压力，及止浆器的止浆效果。进行三组试验，试验结果如表6所示。

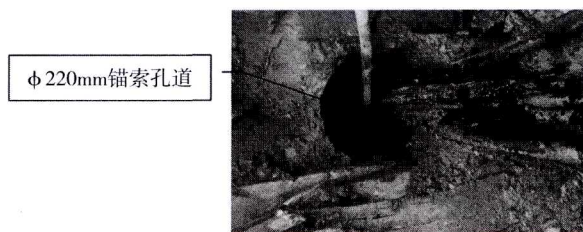


图6 止浆器工程实际应用试验

表6 止浆器工程应用试验结果列表

试验组数	止浆袋注浆压力 (MPa)	一次注浆压力 (MPa)	二次高压注浆压力 (MPa)	是否有浆体从止浆器前端溢出
第一组	1.2	0.7	5.0	少量
第二组	1.1	0.8	7.0	无
第三组	1.3	0.9	6.5	无

从实验结果可以看出，受锚索孔壁及土体质量影响，第一组出现少量浆体从止浆器前端溢出属于正常现象，三组试验均未出现浆体大量从止浆器前面溢出、也未出现止浆器滑移，止浆效果满足工程实际要求。

5.2 工程应用

通过充浆式止浆器在南宁五象新区核心区商务街基坑（边坡）支护工程大批量应用（约1500个），如图7所示。应用结果反馈：其施工简单方便，止浆效果良好，现场容易操作，结构安全可靠，得到了各单位的肯定。



图7 充浆式止浆器应用于南宁五象新区核心商务街项目

5.3 试验结果

从上述试验研究结果及工程应用情况，可以得出充浆式止浆器具有如下几方面的特性：

1. 充浆式止浆器结构设计要点：

(1) 内部止浆比较容易实现。选择合适的砂浆就基本能满足要求，虽然内部止浆结构容易实现，但不能取消内部止浆结构（注浆筒+砂浆）。（注：本文为了验证能否取消内部止浆结构，对取消内部结构的止浆器进行了试验。试验

结果如下：止浆袋的浆体容易从止浆环与钢绞线、注浆管的缝隙溢出，无法使止浆袋膨胀，达不到止浆的效果。同时，取消内部止浆结构也不利于止浆器的定位。

2. 外部止浆是止浆器的关键和难点；

(1) 止浆袋材料必须能满足足够的耐磨和耐压要求；

(2) 止浆袋不易过厚，过厚会影响其与止浆环的绑扎效果；

(3) 止浆袋缝合要满足足够的强度；

(4) 绑扎槽在止浆环径向尺寸允许的条件下，优先选用矩形槽+V型槽的结构。

3. 充浆式止浆器在岩土工程应用中的优势：

(1) 成本经济性良好；

(2) 安装、使用操作简便；

(3) 结构安全可靠；

(4) 适用性好；

(5) 止浆压力高，可大于3.5MPa以上；

(6) 止浆器注浆与锚索孔道注浆分别使用单独的注浆管，注浆互不干涉，保证施工更安全可靠。

(7) 止浆孔径大（本文为 $\phi 220\text{mm}$ ），可根据实际需要设计。

6 结论

从南宁市五象新区核心区商务街项目应用效果来看，充浆式止浆器能够满足大孔位，高止浆压力要求，且具有安装简便、结构安全可靠、适用性广、节省工程成本等优点，适合在类似工程项目中大批量推广使用。

参考文献

- [1] 闫莫明, 徐祯祥, 苏字约. 岩土锚固技术手册. 人民交通出版社, 2004年4月.
- [2] 李伟, 孙永洁, 朱天琴等. 布袋式充浆止浆环在预应力锚索施工中的运用. 人民黄河第31卷第4期, 2009年4月.

(上接第26页)

5.3 鞍体的有限元分析小结

(1) 在静态下将拉索力转化成对鞍体的强度计算，通过鞍体的分析，得到鞍体在最大拉力（4500kN）工况下的结构变形、应力分布规律：

鞍槽处最大应力31.5MPa，竖筋板处最大应力56.6MPa，鞍体滑动面与滚轴接触处最大应力为124MPa；

(2) 鞍体为ZG270-480H整体铸造，其材料的屈服强度标准值为270MPa，有限元分析的最大应力少于材料的屈服强度；

(3) 鞍体的滑动面与滚轴接触处为镶嵌的40Cr耐磨板，其材料的屈服强度标准值为690MPa，有限元力分析的最大应力少于材料的屈服强度。

6 结论

(1) 通过索鞍的理论计算和鞍体的ANSYS有限元分析，鞍体各处的应力均小于材料的许用应力，证实滑动索鞍的结构设计是安全可靠的，能满足桥梁寿命设计的要求；

(2) 有限元分析结果显示：索鞍的最大应力集中在鞍体滑动面与滚轴接触处，验证了鞍体镶嵌40Cr耐磨板的必要性和合理性。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. GB 50017-2003钢结构设计规范[S]. 北京：中国计划出版社, 2003.10.
- [2] 中华人民共和国交通部. JTG D64-2015公路钢结构桥梁设计规范[M]. 中交公路规划设计院有限公司, 2015年.
- [3] 中华人民共和国交通部. JTG-T D65-05-2015公路悬索桥设计规范[M]. 中交公路规划设计院有限公司, 2015年.
- [4] 机械设计手册编委会. 机械设计手册[M]. 3版. 北京：机械工业出版社, 2004.8.
- [5] 东明黄河公路大桥改造工程施工图.
- [6] 滕启杰, 张哲, 余报楚, 邱文亮. 万新大桥梁端滑动索鞍设计与受力分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版) 2006年1月.
- [7] 张洪信, 王怀敏, 孟祥踪. ANSYS基础与实例教程[M]. 北京：机械工业出版社, 2013年6月.
- [8] 秦宇. ANSYS基础与实例教程[M]. 北京：化学工业出版社, 2009年.
- [9] 中华人民共和国交通部. JT-T903-2014悬索桥索鞍索夹[M]. 中交公路规划设计院有限公司, 2014年.
- [10] 李明华, 刘海亮等. 武汉市鹦鹉洲长江大桥散索鞍座新型结构设计[J]. 铁道工程学报 2011年7月.