

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.03.018

大截面钢轨抗滑桩应用关键技术研究及工程应用

闵征辉^{1,2}, 邹德兵^{1,2}

(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010;

2. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 钢轨抗拉强度高(≥ 880 MPa)、抗弯性能好(工字型截面), 将大截面抗滑桩中的纵向受力钢筋替换为旧钢轨, 可形成具有抗滑能力强、投资节省的钢轨抗滑桩。通过查阅相关文献、规程规范和技术研发, 形成了钢轨抗滑桩专利技术, 它成功解决了大截面钢轨抗滑桩应用中旧钢轨强度取值较难、钢轨与混凝土握裹力不足、鱼尾板连接刚度不够且连接处强度低等限制大规模工程应用的关键技术问题。将大截面钢轨抗滑桩成功应用于构皮滩水电站石棺材崩塌积体治理。监测资料表明滑坡体变形较小, 建成后经过2014年约100年一遇暴雨考验和近8年的安全运行, 证明了大截面钢轨抗滑桩在大型滑坡治理中具有广阔的应用前景。

关键词: 大截面; 钢轨; 抗滑桩; 加糙; 关键技术

中图分类号: TV223.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2020)03-0099-05

Key Technologies for Rail Anti-sliding Pile with Large Cross-section and Engineering Application

MIN Zhenghui^{1,2}, ZOU Debing^{1,2}

(1. Chang Jiang Survey Planning Design and Research Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430010, China;

2. National Dam Safety Research Center, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: The rail has high tensile strength (≥ 880 MPa) and good bending resistance (I-shaped cross-section). The longitudinally stressed steel bars in anti-slide pile can be replaced with old steel rails, which can form rail anti-slide pile with large anti-slip capability. By analyze the related literatures, regulations and technical research, form patent technology for rail anti-slide pile, a technology was proposed which can successfully solve the issues which including difficulties to determine the strength of the rail, insufficient gripping between rail and concrete, insufficient rigidity and low joint strength of the fishplate connection, which limit the widespread application, and it is successfully applied to the treatment of Shiguancai colluvial slope at Goupitan Hydropower Station. The monitoring data show that the deformation of the landslide mass is relatively small. After the completion of the project, it has stand the test of 2014 rainstorm about once in 100 years and 8 years of safe operation, which has effectively promoted the engineering application of the large cross-section rail pile.

Keywords: large cross-section; rail; anti-slide pile; roughness; key technology

抗滑桩是滑坡加固设计中最常用的措施, 由于施工简单、快捷、对原始边坡的扰动较小, 因此在滑坡治理中得到了广泛的应用^[1]。近年来, 苏先科等^[2]、武玉婷^[3]、王奎等^[4]、陈武^[5]在高速公路滑坡

治理和李春波^[6]、黄志平^[7]在基坑支护中应用了微型钢轨抗滑桩, 即在钻孔中放入1根~2根旧钢轨后用混凝土或水泥砂浆充填钢轨与孔壁间的空隙形成的桩。微型钢轨抗滑桩截面小, 适用于滑坡推力

不大,岩体较完整的岩质边坡,它比大截面抗滑桩有轻便、灵活、施工速度快等优点,但工程应用中存在旧钢轨抗拉强度取值较难、耐久性等问题,限制了大规模工程应用。

随着我国水电开发进一步向西南的大江大河、高山峡谷推进,很多工程位于大(巨)型滑坡附近,无法规避,必须进行治理。大(巨)型滑坡下滑力大,在采取截水、排水等措施基础上,往往还需要配合采用大截面抗滑桩进行治理。由于配筋率和钢筋抗拉强度的限制,大截面抗滑桩混凝土抗压强度并没有得到充分发挥。采用抗拉强度高(≥ 880 MPa)、抗弯性能好(工字型截面)的钢轨替代抗滑桩纵向受力钢筋,理论上可形成一种抗滑能力强、工程费用省的钢轨抗滑桩,但将钢轨应用于大截面抗滑桩中作为受力钢筋,存在以下几个问题^[8-9]:

(1) 钢轨特别是旧钢轨抗拉强度取值难以确定。

(2) 钢轨表面是光滑的,类似于 I 级光圆钢筋,与混凝土握裹力不足(受力钢筋要求用 II 级及以上带肋钢筋),抗滑桩承受滑坡推力产生变形后钢轨与混凝土可能脱开,发生“抽芯”现象,导致钢轨与混凝土不能联合受力。

(3) 在铁路上,鱼尾板(接头夹板)主要起导向作用,两根钢轨通过鱼尾板夹紧使其对准连接,防止错位导致火车出轨;为适应钢轨因温度变化而引起的伸缩,在钢轨与钢轨、钢轨与鱼尾板之间均有一定的间隙。这就使得钢轨之间采用鱼尾板连接后,顺钢轨长度方向仍有一定活动空间。因此鱼尾板连接类似“铰接”,而钢轨抗滑桩中的钢轨则要求采用刚性连接。

此外,现行的《43 kg/m ~ 75 kg/m 钢轨接头夹板订货技术条件》^[10](TB/T 2345—2008)中,鱼尾板抗拉强度较钢轨偏低(抗拉强度为 785 MPa 或 845 MPa)。在大型滑坡治理中,滑坡推力大,滑面深,钢轨标准长度一般为 12.5 m 或 25.0 m,超过标准长度钢轨须接长,钢轨抗滑桩如采用鱼尾板连接则钢轨连接处是机械强度的薄弱处,不符合抗滑桩中钢轨需要等强连接的要求。

综上所述,目前大截面钢轨抗滑桩应用存在钢轨强度取值较难、钢轨与混凝土握裹力不足、鱼尾板连接刚度不够且连接处强度偏低等问题。

1 旧钢轨抗拉强度取值

1993 年,我国铁路部门组织制定了《43 kg/m ~ 75 kg/m 钢轨订货技术条件》^[11](TB/T2344—1993)

系列标准,但除了断面尺寸外,冶金系统采用的还是《铁路用每米 38 ~ 50 公斤钢轨技术条件》^[12](GB 2585—1981)。直到 2003 年,铁路系统和冶金系统仍分别采用本行业制定的标准。

2003 年,铁道部组织铁道科学研究院等单位,对上述标准进行重大修订,借鉴欧洲钢轨标准,结合我国钢轨生产厂技术改造实际情况和工艺技术水平,制定了《43 kg/m ~ 75 kg/m 钢轨订货技术条件》^[13](TB/T 2344—2003)(以下简称“旧标准”),用于运营速度为 160 km/h 及以下铁路钢轨的生产、采购和验收检验。自 2003 年以来,旧标准得到广泛应用,在我国铁路建设中发挥了巨大作用,并取得良好社会效果。旧标准中钢轨的力学性能指标见表 1。

表 1 旧标准中钢轨和 HRB400 钢筋力学性能

钢轨牌号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%
U71Mn	≥ 880	≥ 9.0
U75V	≥ 980	≥ 9.0
U76NbRE	≥ 980	≥ 9.0
HRB400	≥ 540	≥ 7.5

为适应我国高铁发展的需要,旧规范进行了修订,目前现行有效版本为《43 kg/m ~ 75 kg/m 钢轨订货技术条件》^[14](TB/T 2344—2012)(以下简称“新标准”)。新标准中钢轨的力学性能指标见表 2 和表 3。

表 2 新标准中热轧钢轨力学性能

钢轨牌号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%
U71Mn	≥ 880	≥ 10
U75V	≥ 980	≥ 10
U77MnCr	≥ 980	≥ 9
U78CrV	≥ 1080	≥ 9
U76CrRE	≥ 1080	≥ 9

表 3 新标准中热处理钢轨力学性能

钢轨代号	钢轨牌号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%
H320	U71Mn	≥ 1080	≥ 10
H340	U75V	≥ 1180	≥ 10
H370	U78CrV	≥ 1280	≥ 10

对比表 1、表 2 及表 3 中钢轨和我们常用的 HRB400 的 III 级钢筋的力学性能指标,钢轨抗拉强度是钢筋的 1.63 倍 ~ 2.37 倍。考虑钢轨长时间使用后,存在一定的疲劳损伤,损伤类型包括磨损和疲劳裂纹^[15-18]。旧钢轨力学性能指标相比新钢轨肯定有一定程度的下降,参考类似工程经验,旧钢轨抗

拉强度按新钢轨抗拉强度的70%考虑;同时参考《钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋》^[19](GB/T 1499.2—2018),考虑设计抗拉强度约为极限抗拉强度60%,最终推荐工程应用中旧钢轨设计抗拉强度取值见表4及表5。

表4 热轧旧钢轨抗拉强度值

钢轨牌号	折后抗拉强度 R_m /MPa	设计抗拉强度 f_y /MPa
U71Mn	616	369
U75V	686	411
U76NbRE	686	411
U77MnCr	686	411
U78CrV	756	453
U76CrRE	756	453

表5 热处理旧钢轨抗拉强度值

钢轨代号	钢轨牌号	折后抗拉强度 R_m /MPa	设计抗拉强度 f_y /MPa
H320	U71Mn	756	453
H340	U75V	826	495
H370	U78CrV	896	537

根据表4、表5可知,即使是旧钢轨,设计抗拉强度也在369 MPa~537 MPa,比我们常用的HRB400的Ⅲ级钢筋抗拉强度高2.50%~49.17%。

2 旧钢轨加糙

为解决钢轨与混凝土握裹力不足问题,需对旧钢轨表面进行加糙,加糙步骤如下:

(1) 钢轨选择。钢轨加糙前,挑选、检查旧钢轨。首先,人工肉眼排除存在裂纹、弯曲严重的旧钢轨。然后,采用超声波对钢轨内部缺陷进行检测^[20-21],排除存在内部损伤的旧钢轨;必要时可以进行拉伸试验。经过检查合格后的旧钢轨清除表面污物,做除锈处理后准备加糙。

(2) 钢轨加糙。沿钢轨上、下、左、右共4个表面,每隔一定间距帮焊一段加糙钢筋(见图1),加糙钢筋直径和间距根据受力情况确定。

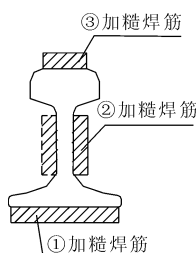


图1 钢轨加糙示意图

加糙采用焊接效果较好、适合钢轨焊接的连续闪光焊^[22-23],焊后在干燥环境下自然冷却至常温。经现场焊接试验多次比较,铁路钢轨专用焊条焊接质量最佳。加糙不得对钢轨本身造成损伤,加糙后钢轨表面不应有裂纹、明显压痕、划痕、趾痕、打磨灼伤等伤损。

经过现场检验,本钢轨抗滑桩的钢轨加糙工艺,简单易行、经济适用,可有效解决钢轨与混凝土握裹力不足的问题,防止受荷后钢轨与混凝土脱开,发生“抽芯”现象,解决了钢轨抗滑桩工程应用中存在的安全隐患。

3 钢轨制安

经过加糙后的旧钢轨可作为抗滑桩中的纵向受力钢筋,但旧钢轨标准长度通常为12.5 m、25.0 m,为满足抗滑桩纵向受力钢筋长度要求,必须进行连接。

(1) 钢轨连接。钢轨的连接采用专用钢轨连接器,见图2及图3。施工时应注意,配置在钢轨抗滑桩“同一水平截面内”受拉区的钢轨接头数(钢轨连接器的个数)不超过钢轨总数的50%。

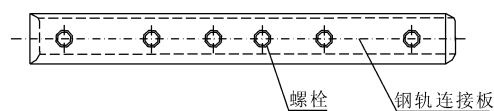


图2 专用钢轨连接器立视图

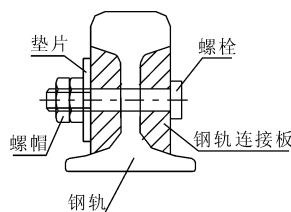


图3 专用钢轨连接器横剖面图

专用钢轨连接器与鱼尾板类似,但相比铁路行业的鱼尾板连接,它有以下优点:①与钢轨腹板贴合紧密且连接处没有间隙;②配套的螺栓与钢轨和连接板上孔眼尺寸一致;③选用高强材质。专用钢轨连接器属于机械连接,施工简单快捷、连接牢固可靠,具有良好的经济效益和社会效益。

(2) 钢轨下放。因井内焊接作业条件差,一般在地面一次接好,利用井架上的提升滑轮配以长臂吊车将钢轨下放或专用卡具下放。

(3) 钢轨固定。由于钢轨长且重,定位及固定其间距较困难,操作时在井内每5 m~8 m设一道定位钢筋。定位钢筋一般两端插入护壁混凝土土内,

钢轨定位准确后采用铁丝绑扎固定。

钢轨的轨底应迎向滑坡下滑方向,钢轨横截面中轴线方向与抗滑桩长边方向一致。

钢轨抗滑桩除钢轨安装外,其它施工工艺同普通抗滑桩。

4 工程应用

构皮滩水电站石棺材崩坡积体位于大坝下游左岸,泄洪洞出口上方。平面上呈不规则的长方形,南北长 260 m~310 m,东西宽 230 m~280 m,分布面积 7.2 万 m²,体积约 110 万 m³,崩坡积体厚度变化较大,一般 15 m~25 m,最大达 58.3 m。

构皮滩水电站开工前,石棺材崩坡积体未出现变形。水电站开工后,左岸施工道路特别是箐马公路的修建对崩坡积体构成较大扰动,加上暴雨作用,2002 年曾诱发了崩坡积体局部变形,产生了 6 个变形体,其中以 1[#]和 4[#]变形体最为危险。后经采用抗滑桩、回填反压、排水、坡面防护等措施对其进行了综合治理,治理完成后整体稳定性较好,但仍存在局部变形。

由于构皮滩通航建筑物布置需要,将对石棺材崩坡积体坡脚压重进行开挖,开挖量 11 万 m³,挖断箐马公路,挖除 1[#]变形体已有抗滑桩、箐马公路内侧浆砌石挡墙及格构护坡,挖除 4[#]变形体坡脚抗滑桩,将对石棺材崩坡积体产生强烈的扰动,极有可能再次引发变形体变形,甚至诱发崩坡积体的整体失稳。

(1) 工程治理方案。经过大量计算分析后,工程治理采取以 2~3 排大截面钢轨抗滑桩为核心的支挡方案,具体支护措施及监测设施布置见图 4。

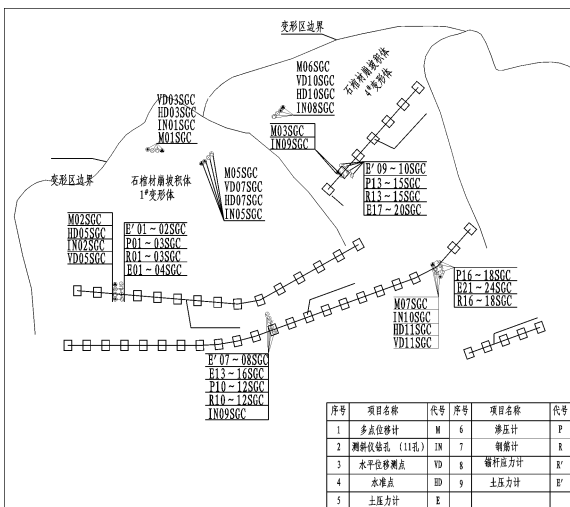


图 4 石棺材崩坡积体治理及监测布置示意图

(2) 监测成果分析。石棺材崩坡积体布置了测斜孔、多点位移计等监测设施,工程完工后,经过近 8 年运行期监测,数据如下:

① 测斜孔。崩坡积体下滑方向水平位移变化小,最大累计合位移为约 20 mm,没有出现异常的波动,测斜孔典型位移曲线见图 5。

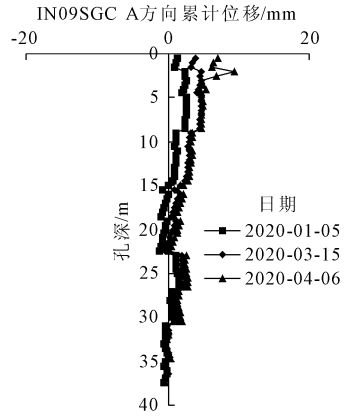


图 5 EL. 661. 18 m 测斜管 IN09SGC 位移曲线

② 多点位移计。整体变形量不大,最大变形量为 -0.98 mm~8.41 mm,现基本已趋于稳定状态。典型多点位移计位移过程曲线见图 6。

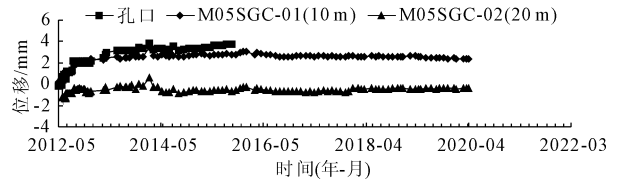


图 6 典型多点位移计位移过程曲线

(3) 运行情况。2014 年 7 月 14 日—18 日,4 d 时间内乌江渡—构皮滩区间降雨量 181.3 mm,构皮滩水电站枢纽区降雨量 254 mm,降雨强度约为 100 年一遇,崩坡积体内地下水位超过设计稳定计算地下水位,但是监测数据显示,石棺材崩坡积体变形较小,依然保持稳定。

(4) 结论。经过 8 年监测数据分析及 2014 年暴雨工况检验,可得出结论:石棺材崩坡积体采用大截面钢轨抗滑桩进行治理是十分成功的。

5 结语

(1) 类比钢筋强度比值关系,旧钢轨根据钢排号不同,设计抗拉强度可取为 369 MPa~537 MPa,比我们常用的 HRB400 的 III 级钢筋抗拉强度高 2.50%~49.17%,且价格较 HRB400 钢筋便宜,经济性更好。

(2) 钢轨抗滑桩的钢轨加糙工艺,简单易行、经济适用,可有效解决钢轨与混凝土握裹力不足的问题,防止受荷后钢轨与混凝土脱开,发生“抽芯”现象,解决了钢轨抗滑桩工程应用中存在的安全隐患。

(3) 专用钢轨连接器施工简单快捷、连接牢固可靠,且连接刚度大,符合钢轨抗滑桩中钢轨刚性连接的要求,有利于钢轨抗滑桩的推广应用。

参考文献:

[1] 方健,邓琴.含软弱夹层顺层边坡的抗滑桩加固稳定性分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):156-160,171.

[2] 苏先科,岳敏.钢轨抗滑桩在高速公路边坡滑坡治理中的应用[J].西部探矿工程,2011,23(7):11-14.

[3] 武玉婷.公路高陡边坡治理中预应力锚索抗滑桩施工技术的应用[J].华东公路,2017(5):92-93.

[4] 王奎,张小华,等.钢轨抗滑桩技术在高速公路养护工程中的应用[J].建材公路,2017,38(3):39-43.

[5] 陈武.微型钢轨桩在路基边坡处治中的应用分析[J].路基工程,2019(3):189-193.

[6] 李春波.跨高速运营既有线门式墩钢轨桩基础开挖模拟研究[J].铁道建筑技术,2015(8):30-32.

[7] 黄志平.紧临运营线路钢轨桩防护施工应用研究[J].铁道建筑技术,2018(9):50-53.

[8] 徐年丰.钢轨抗滑桩:CN 201320402373.2[P].2013-07-08.

[9] 徐年丰.钢轨制安工艺及钢轨抗滑桩:CN 201310283866.3[P].2013-07-08.

[10] 43 kg/m~75 kg/m 钢轨接头夹板订货技术条件:TB/T 2345—2008[S].北京:中国铁道出版社,2008:1-18.

[11] 43 kg/m~75 kg/m 钢轨订货技术条件:TB/T 2344—1993[S].北京:中国铁道出版社,1993:1-10.

[12] 铁路用每米 38~50 公斤钢轨技术条件:GB 2585—1981[S].北京:中国标准出版社,1982:1-6.

[13] 43 kg/m~75 kg/m 钢轨订货技术条件:TB/T 2344—2003[S].北京:中国铁道出版社,2003:1-47.

[14] 43 kg/m~75 kg/m 钢轨订货技术条件:TB/T 2344—2012[S].北京:中国铁道出版社,2012:1-61.

[15] 周宇,张杰,王少锋,等.考虑磨耗的钢轨疲劳裂纹萌生寿命预测仿真[J].铁道学报,2016,38(7):91-97.

[16] 李军.神朔铁路钢轨使用寿命研究[J].铁道建筑,2017,57(11):98-101.

[17] 李革,梁蓬勃,陈林.U75V 钢轨材料在疲劳载荷下应力强度因子的探讨[J].热加工工艺,2018,47(20):42-46.

[18] 田常海,张金,俞喆,等.大秦铁路 75 kg/m 钢轨伤损变化及影响因素研究[J].铁道工程学报,2019,36(9):1-5,22.

[19] 钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋:GB/T 1499.2—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.

[20] 张玉华,许贵阳,李培.钢轨探伤车自主化超声检测系统的关键技术[J].中国铁道科学,2015,36(5):131-136.

[21] 陈太荣.超声波探伤在高速钢轨检测中的应用[J].中国设备工程,2017(7):82-83,85.

[22] 丁韦,高振坤,李力,等.钢轨闪光焊接头静弯检验标准及强度研究[J].铁道技术监督,2016,44(10):1-6.

[23] 丁韦,李力,高振坤,等.贝氏体钢轨闪光焊接技术的研究[J].铁道建筑,2019,59(12):142-146.

(上接第 98 页)

[9] 朱婧,洪宝宁,刘鑫.污泥、淤泥和黏性土的压缩特性对比试验研究[J].科学技术与工程,2018,18(4):323-332.

[10] Liu F,Zhu C,Yang K,et al. Effects of fly ash and slag content on the solidification of river-dredged sludge[J]. Marine Georesources & Geotechnology,2019:1-9.

[11] 黄朝焯.淤泥固化技术在深厚淤泥地基处理中的应用[J].水力发电,2019,45(7):85-89.

[12] 福建建工建材科技开发有限公司.一种废弃土复合处理的固化方法:CN201711469209.2[P].2017-12-29.

[13] 胡孝彭,郭建军,张艳梅,等.重庆永川区城区河道疏浚淤泥处置问题的探讨[J].水利与建筑工程学报,2017,15(4):168-171.

[14] 季冰,肖许沐,黎忠,等.疏浚淤泥的固化处理技术与资源化利用[J].安全与环境工程,2010,17(2):54-56.

[15] 张福海,陈庆,张晓阳,等.海砂-海泥混合料作为海堤填料的可行性试验研究[J].岩土工程学报,2017,39(S1):182-186.

[16] 海堤工程设计规范:SL 435—2008[S].北京:中国水利水电出版社,2008.