

干法喷射混凝土技术在高边坡预应力锚索(杆)框架工程中的应用

鲁鸿福^{1,2}, 王丽梅^{1,2}

(1. 甘肃工程地质研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃地质工程有限责任公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要:混凝土质量是影响预应力锚索(杆)框架结构的关键因素,它直接影响着边坡加固的效果,高边坡框架现浇混凝土施工受现场条件限制,存在离析、振捣不到位、跑浆、胀模、劳动力成本偏高等问题,干法喷射混凝土可有效解决以上难题。本文结合甘肃小厂坝矿山环境恢复治理工程(二期)预应力锚杆框架施工的成功经验,对干法喷射混凝土施工的施工工艺及技术要点进行了介绍。

关键词:干法喷射混凝土;高边坡加固;预应力锚索(杆)框架

中图分类号:TD824.7⁺2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)05-0076-05

Application of Dry Spraying Concrete Technology in High Slope Pre-stressed Anchor Cable (Bar) Framework Engineering/LU Hong-fu, WANG Li-mei (1. Gansu Institute of Engineering Geology, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Gansu Geo-engineering Cor., Ltd., Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: Concrete quality is the key factor to affect the frame structure of pre-stressed anchor cable (bar) and also directly affects the slope reinforcement effect. High slope frame cast-in-place concrete is restricted by field conditions with segregation, uncompleted vibration tamping, slurry leakage, template swell and high labor cost, all the above can be effectively solved by dry spraying concrete. Combined with the successful experience in the pre-stressed anchor frame construction in Xiaochangba mine environmental restoration project (the second phase) of Gansu Province, this paper introduces the technical points of the dry spraying concrete construction technology.

Key words: dry spraying concrete; high slope reinforcement; pre-stressed anchor cable (bar) frame

1 问题的提出

随着国民经济的发展,大量铁路、公路、水利、矿山、城镇等设施的建设,特别是在丘陵和山区的建设中,人类工程活动中开挖和堆填的高边坡越来越多,边坡灾害有可能导致人类的生命安全、财产损失、交通停航、城镇被埋、厂矿停工,影响着社会与生产的正常运转^[1]。因而加固不稳定边坡成为当务之急,出现了数量众多、规模大小不等的边坡治理工程。

预应力锚索框架是随着预应力锚索技术在滑坡治理和边坡加固过程中大量应用而发展起来的一种新型支挡结构形式。它利用了预应力锚索抗滑、框架作为承力和传力构件的特性,即通过框架承受巨大的锚索预应力并且将其传递到被锚固的地层中,从而起到对坡体加固的作用,成为边坡支护的重要手段^[2]。

目前高边坡框架混凝土施工方法有:导轨提升法、索道溜索法、泵送法、吊机起吊法等,存在多次运输、振捣不到位、跑浆、胀模、施工成本偏高等问题,且无法应对快速变形的不稳定边坡^[3-5]预应力锚索(杆)框架工程施工。长期施工过程中,我公司经过反复研究和实践,针对以上问题,提出了干法喷射混凝土施工技术,以适应高边坡预应力锚索(杆)框架工程。

2 工程概况

甘肃小厂坝铅锌矿位于甘肃省成县黄渚镇,为著名的西成矿田的一部分,自20世纪80年代中后期以来,受“国家、集体、个人一起上”和“大矿小矿一起开”的思潮误导,在经济利益的驱动下,形成了大量群采矿点与国家大矿竞争采矿的混乱局面。导致矿区内

收稿日期:2015-11-25; 修回日期:2016-04-06

基金项目:甘肃省地矿局地质工程类新技术推广项目“高边坡锚索(杆)框架梁混凝土施工技术研究”(编号:201506)

作者简介:鲁鸿福,男,汉族,1968年生,副总工程师,注册一级建造师,高级工程师,从事地质灾害防治工程及岩土工程等方面的工作,甘肃省兰州市城关区红星巷123号,530290110@qq.com。

出现不稳定斜坡和大体积废弃矿渣体,矿区地质环境恶化,严重影响矿区的安全生产(图 1)。



图 1 小厂坝铅锌矿矿山边坡治理前现状

治理区地貌呈 V 字形谷,不稳定边坡地形较陡,坡度 $>40^\circ$,斜坡临空面较大,地形条件不利于坡体的稳定。出露的地层主要为:

燕山期花岗岩(γ_s^1):大面积出露于勘察区,肉红色,成分主要为钾长石、石英,粗粒结构,块状构造,X 形节理发育。

第四系残坡积物(Q_4^{dl+el}):大面积披覆于勘察区山体表层,成分多为当地母岩的风化物和破碎体,由碎石、块石、角砾及粘土混合堆积而成。

人工堆积物(Q_4^{ml}):人工堆积物主要为采矿形成的废弃矿渣。

受资金限制,治理区内 2003 年实施了一期工程,主要是在不稳定高边坡坡脚处砌筑了 8 m 高的浆砌块石挡土墙;本次治理工程为二期项目,主要对不稳定斜坡和废弃矿渣体进行加固。不稳定斜坡长 102 m,高 45 m,坡度 75° ;废弃矿渣体长 76 m,高 32 m,坡度 50° 。不稳定斜坡采用预应力锚杆框架加固,预应力锚杆为 $\varnothing 32$ mm,长 12~15 m,抗拔力 70~100 kN,框架间距 3 m \times 3 m(法向投影),截面尺寸 400 mm \times 300 mm。配筋:主筋 10 $\varnothing 18$ 、加强筋 $\varnothing 8@100$,混凝土强度等级 C25;废弃矿渣体采用菱形钢筋混凝土框架加固,框架梁截面尺寸 400 mm \times 300 mm,配筋:主筋 6 $\varnothing 18$ 、加强筋 $\varnothing 8@100$,混凝土强度等级 C25,整个框架梁使用喷射混凝土约 1100 m³。

3 混凝土施工方法的选择

我院(公司)在以往高边坡格构混凝土施工中采用过 4 种方法,即:导轨提升法、索道溜索法、泵送法、吊机起吊法。但在实施过程中发现以下问题。

(1)模板加固要求高,存在胀模现象;泵送法子出口处混凝土冲击力大,经常出现跑模。

(2)受岩质坡面凹凸影响,支模困难;振捣时,混凝土经常出现跑浆。

(3)振动棒需插入钢筋笼振捣,易发生振动棒被卡现象,导致混凝土振捣不密实。

(4)竖梁上模板因混凝土浇筑需要分段闭合,混凝土不能连续浇筑。

(5)导轨提升法、索道溜索法工法混凝土需多次转运,易产生离析,严重影响质量。

本工程中交通条件极为不便,只有一条自左向右的进厂道路,且与出矿运输轨道相交,轨道高压线距地面只有 2 m,高边坡施工时不能影响矿山生产,所以吊车、泵车等大型车辆无法通行;不稳定边坡坡脚处已有高度为 8 m 的浆砌石挡土墙一座,导轨提升法需多次架设钢轨,劳动力成本较高;索道溜索法方案因影响矿山安全被建设单位否决。在建设、设计、监理、施工四方召开框架混凝土施工方法的研讨会上,我院(公司)提出了采用干法混凝土施工技术可解决上述有关问题,但由于当时国内外尚无相关报道,设计单位要求在确保混凝土强度等级达到 C25 的前提下,经专家组论证,本工程框架混凝土施工加固采用干法喷射混凝土技术。

4 干法喷射混凝土施工原理

干法喷射混凝土是混凝土施工的一种特殊方法,采用干拌合料,大部分拌合水通过水泵在喷嘴处加入(图 2),由喷射手通过阀门来控制水量。突出特点是借助压缩空气高速喷射(据有关资料,拌合料由喷嘴喷出的速度高达 60~80 m/s),在喷射过程中拌合料相互连续撞击,无须振捣,形成密实的混凝土结构。

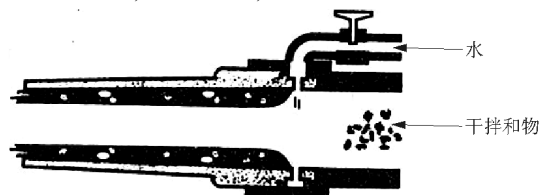


图 2 干法喷射混凝土喷嘴处的工作状况

4.1 施工机具选择

干法喷射混凝土施工机械设备及配套设备比较成型,但高边坡预应力锚索(杆)框架干法喷射混凝土因要求有向上喷射且距离较远因而对机具的选择具有更高要求:

(1)对空气压缩机的要求是工作稳定性好、连续工作时间长、移动方便、风压较大、风量适中、可承受瞬间超载;

(2)喷射机结构简单、管路不宜易堵塞,易损件的使用寿命长、装拆维修方便;

(3)输料管滑润耐磨、不会发生堵管、喷射料输送情况便于观察、喷射管柔软性较好。

本工程施工的主要机械设备见表1。

表1 机械设备一览表

序号	机具名称	型号	性能参数
1	混凝土喷射机	PZ-5 转子式	生产能力 5~5.5 m ³ /h,最大输送距离 200 m
2	空气压缩机	VHP400(700)	排气压力 1.2 MPa,排气量 11.5(20) m ³ /min,内燃式
3	潜水泵	QS40(10)	扬程 40(162) m,流量 40(10) m ³ /h
4	搅拌机	JZC250	生产能力 6~8 m ³ /h
5	输料硬管	PE 管	白色,半透明状,内壁光滑,一次成型,抗爆破压力 ≥1.8 MPa
6	喷射软管	喷浆管	黑色,材质为耐磨橡胶,内外2层,抗爆破压力 ≥1.6 MPa
7	抹子	木(铁)抹子	

4.2 原材料与配合比

本工程框架混凝土设计强度等级为 C25,基于经济性考虑,干法喷射混凝土强度等级也确定为 C25,水泥选用了甘肃祁连山水泥公司生产的 32.5 级普通硅酸盐水泥;细骨料采用当地的中粗河砂,粗骨料选用粒径 ≥10 mm 的良好级配卵石;经现场试喷后,选用的配合比见表 2^[6-8]。

表2 喷射混凝土配合比

材料	水泥	细骨料	粗骨料	水	不同龄期抗压强度/MPa		
					7 d	14 d	28 d
用量/(kg·m ⁻³)	440	915	915	169	7 d	14 d	28 d
质量比	1	2.08	2.08	0.38	20.2	25.8	29.2

注:试件尺寸为 Ø90 mm × 90 mm,系直接喷木模(50 cm × 50 cm × 50 cm)内,标准养护后用钻心法取样,经切割而成。

4.3 框架喷射混凝土前准备工作

框架喷射混凝土前要完成施工平台搭设、钢筋笼绑扎及支模等工序的工作,其中支模工序的要求比现浇混凝土的支模要求相对简单,模板材质可选用质量一般的竹胶板,无论是横梁还是竖梁,只需支

两面模(即竖梁的左右面、横梁的上下面);干法喷射混凝土具有无胀模现象且不需振捣的特点,采用木条简易连接加固即可。由于高边坡框架一般为定型尺寸,其模板可提前制作,再在坡面上拼装(图 3)。



图3 框架梁支模

4.4 干法喷射混凝土施工

喷射混凝土施工工艺流程如图 4 所示。

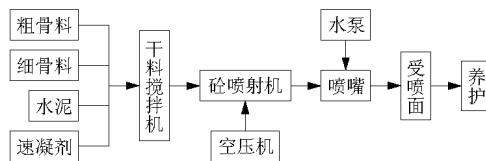


图4 干法喷射混凝土工艺流程

4.4.1 拌合料搅拌

原材料的称重允许偏差:水泥 ±2%,砂石 ±3%;搅拌机搅拌的时间 <60 s,宜随用随拌,存放时间不应超过 2 h。

4.4.2 混凝土喷射

(1)粉尘控制。干法喷射施工时,为解决干法混凝土施工时粉尘较大的问题,采用“两头雾化、中间拌合料”法(图 5),即喷射混凝土时喷射机先开空气阀、再开喷枪的水阀,待喷嘴处形成雾化时,才上拌合料;反之亦然,停止喷射时,先停止上拌合料,待管路内的拌合料全部喷完后,再关水阀,后关气阀,从而有效降低喷嘴处的粉尘。



图5 拌合料雾化

(2)上料。喷射机上料采用人工上料法,作业人员要听从现场指挥人员的指令,向喷射机供料应连续均匀,注意观察喷射机出料情况,严禁超量堵塞筛子。

(3)喷射。喷射手对喷枪的操作技艺是喷射混凝土作业获得成功的关键。喷射时喷枪与受喷面的距离和夹角,应随风压的波动不断调整,干法喷射时,喷射手必须通过调节水量来控制拌合水,以使新鲜的喷射混凝土有光泽的表面。

4.4.3 混凝土喷射面处理

喷射混凝土表面很粗糙,为了框架美观,需要进行处理,一道梁喷完后,先用木抹子对喷射面边提浆边抹平,初凝前用铁抹子收面。

4.5 养护

干法喷射混凝土应在浇筑完毕后的4 h以内加以覆盖并采取保湿养护措施,喷射混凝土在喷射后的7 d内,是养护的关键时期,在任何情况下,框架梁至少养护14 d。

4.6 施工难点及解决措施

干法喷射混凝土虽克服了以往导轨提升法、索道溜索法、泵送法、吊机起吊法施工过程中存在的问题,但是喷射过程中存在粉尘较大和混凝土回弹量大的问题,严重影响了干法喷射混凝土的实际应用范围。经过多年施工研究,我们提出以下解决措施。

4.6.1 粉尘控制

详见4.4.2(1)粉尘控制。

4.6.2 回弹量控制

为解决干法喷射混凝土存在的喷射过程中回弹量大的问题,提出了采用框架梁两面支模法结合干法喷射混凝土施工。根据框架梁尺寸,两侧架设模板,然后在模板内喷射混凝土。通过控制喷射混凝土

喷射轨迹,使得混凝土完全在模板内浇筑密实,并与坡面有效结合,从而克服了以往喷射混凝土施工中回弹量大的问题,同时降低了材料浪费。

5 施工效果

(1)在本工程中,采用了干法喷射混凝土施工,与常规浇筑混凝土方法比较,干法喷射混凝土施工技术采用两面支模法,不仅克服喷射混凝土回弹量大的问题,还节省了底部模板使用,施工过程中只需要2名工人进行上料,1名操作手进行喷射施工,省去人工运输混凝土、浇筑混凝土等工序,浇筑后自然密实,无需振捣,从而节省了大量的模板和人力,加快了施工进度。

(2)框架梁混凝土质量检验采用钻芯法和回弹法^[9-10],检测结果表明送检格构梁喷射混凝土芯样呈青灰色,结构完整,柱面光滑,粗细骨料分布均匀,芯样内无任何裂缝,混凝土胶结良好,混凝土强度代表平均值达到27.5 MPa,满足设计要求格构梁混凝土强度等级C25,保证了高边坡的加固质量。

(3)干法喷射混凝土采用“两头雾化、中间拌合料”法,有效降低了粉尘污染,拓宽了干喷法的应用。

(4)本工程加固于2005年12月初竣工,其间经历了2008年“5.12”汶川大地震和2010年“8.11”甘肃陇南大暴雨的考验,不稳定边坡稳如磐石,框架梁混凝土也未产生裂纹,未发现任何质量问题,通过实践证明将干法喷射混凝土技术应用于高边坡锚索(杆)框架是可行的(图6)。

(5)2013年在兰州市北环路中段路堑多处高边坡加固的预应力锚索框架施工中大面积推广使用了干法喷射混凝土技术(图7、图8),经钻心取样和

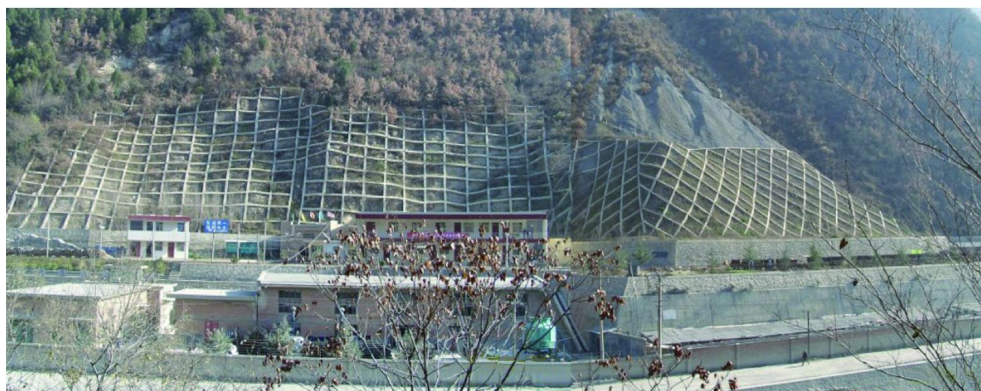


图6 小厂坝铅锌矿矿山边坡治理后现状

回弹法进行强度检验后,效果良好,检测强度平均为 29.6 MPa,大于设计强度 25 MPa,受到参建各方的一致好评。



图7 兰州市北环路安宁段高边坡工程治理前后实景

6 结语

高边坡锚索(杆)框架在高边坡加固中的应用日益广泛,在框架混凝土施工中采用干法喷射混凝土技术,可有效解决现浇混凝土多次运输产生离析、浇筑后胀模、振捣不到位、跑浆等难题,有效保证了框架梁混凝土的施工质量,在确保预应力锚索(杆)+框架组合结构加固边坡效果的同时,缩短了施工时间,降低了高边坡混凝土运输成本,具有较大的社会效益,可以在高边坡预应力锚索框架施工中推广使用。

参考文献:

[1] 闫莫明,徐祯祥,苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

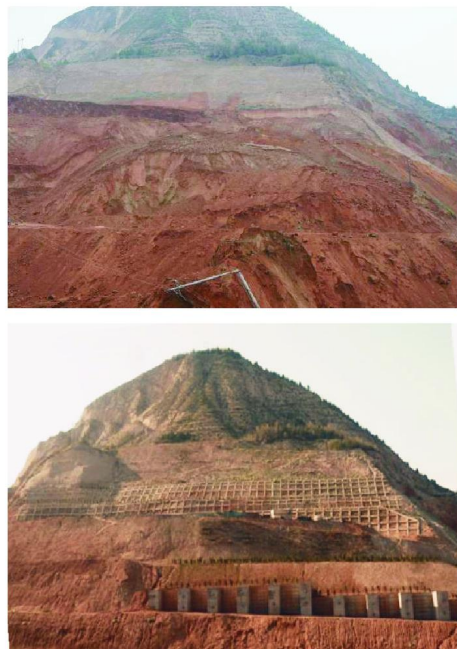


图8 兰州市北环路九州段滑坡工程治理前后实景

- [2] 郑颖人,陈祖煜,王恭先,等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- [3] 蒋鹏飞,李志勇,舒安平,等. 公路边坡防护技术[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [4] 中国公路建设行业协会. 公路工程工法汇编(2014)[M]. 北京:人民交通出版社,2014.
- [5] 李中国,张玉芳. 高陡预应力锚索框架在加固路堑边坡中的应用. 铁道建筑[J],2005,(5):53-55.
- [6] GB 50086—2001,锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [7] 李继业,刘福胜. 新型混凝土实用技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [8] 张应力,杨柏科,周玉华. 现代混凝土配合比设计手册[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [9] GB 50204—2015,混凝土结构工程施工质量验收规范[S].
- [10] CECS 03—2007,钻芯法检测混凝土强度技术规程[S].

致谢:本项目研究过程中,甘肃省地矿局郭树清教授级高级工程师亲临现场指导工作,特此致谢!