

猴子岩水电站压力钢管制作质量控制

王涛

(国电大渡河猴子岩水电建设有限公司,四川甘孜 626005)

摘要:结合猴子岩水电站压力钢管制作实例,介绍了通过制定科学、合理的工艺措施,从下料切割、坡口制备、瓦片压卷、管节组装等方面全面控制形位尺寸;采用严格的焊接工艺,通过焊接材料控制、层间温度控制、线能量与焊接规范、角变形和焊接顺序,严格控制线能量,从而减少了焊接变形,有效地控制了焊接质量的过程。

关键词:猴子岩水电站;下料切割;坡口制备;瓦片压卷;管节组装;焊接质量

中图分类号:TV7;TV547;TV523

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)增1-0099-06

一般而言,在压力钢管制作过程中,主要是从形位尺寸和焊接质量两个方面进行质量控制,笔者分述如下:

(1)形位尺寸控制。在压力钢管制作过程中,单节钢管的圆度、周长若没有控制好,那么在安装时纵缝、环缝的错位将很难控制在允许的范围内,局部往往超标。将整条钢管轴线安装的高程、里程等关键点偏差控制在规范允许的范围内,将会减少整条管线试验充水时的振动,进而减少管线投入运行时的噪音。

(2)焊接质量控制。焊接质量控制主要是指焊缝无损检测以及减少焊接残余应力。对于压力钢管而言,其材料塑性、韧性较好,因而工作应力(交变应力和水锤压力等)与残余应力互相叠加,若在局部区域超过材料的屈服点 σ_s ,将会局部产生塑性变形,造成应力重新分布,进而降低了残余应力峰值,虽然不影响结构的强度,但对刚度有一定的影响。残余应力的存在,会形成双向拉伸(或三向拉伸)的应力状态,使材料韧性有所下降。一旦三向拉伸的应力状态与产品结构中存在的缺陷联合作用,将会对结构的安全产生破坏性的影响。众所周知,焊接残余应力不可避免地存在,只能采用合理的方法减少其存在。为了控制焊接残余应力与焊缝内部的缺陷相互作用,应对焊缝进行严格的超声波探伤,并用TOFT(代替射线拍片)进行复测,严格控制焊缝内部缺陷的产生。

笔者结合猴子岩水电站压力钢管制作的过程,对压力钢管制作工艺中的形位尺寸控制和焊

接质量控制进行了探讨。

1 概述

猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,是大渡河干流水电规划调整推荐22级开发方案中的第9个梯级电站,其上游为丹巴水电站,下游为长河坝水电站,总装机容量为1700 MW(4×425 MW)。引水压力钢管由下平段和厂前渐变段等组成,为一洞一机布置,共布置了四条引水隧洞,总工程量为2500 t,包括主管和加劲环、阻水环、封堵塞、补强板等附件的制作及防腐,材料主要为610 MPa级钢板。

2 制作工艺控制

2.1 下料切割控制

压力钢管的直边切割在数控切割机上进行,然后在具有足够刚度的切割平台上进行坡口切割。下料切割的重点为控制排料、气割工艺参数等。

(1)切割工艺方法。切割时采用中性焰,正确控制切割氧压力、气割速度、预热火焰能率、割嘴与钢板的倾斜角度、割嘴离钢板表面的距离等气割工艺参数(推荐参数见表1)。切割时一定要保证氧气、乙炔纯度(氧气纯度高于99.5%)和压力,注意监控切割机行走轨迹和程序运行是否正常,否则应及时进行参数调整。

表1 推荐的切割氧压力、切割速度表

钢板厚度 /mm	气割速度 /mm·min ⁻¹	氧气压力 /MPa
20~25	260~350	0.4
26~30	240~270	0.425
31~44	210~250	0.45

收稿日期:2015-01-07

(2)下料切割钢板的标记。钢板在数控切割平台上切割完成后吊至半自动切割平台上,用油漆和冲眼标记分别标出钢管分段、分节、分块的编号,水流方向,水平和垂直中心线,坡口角度以及切割线等符号。

(3)加劲环的加工方法。用数控切割机直接下料切割,以提高加劲环与钢管组装的质量。排料时,为减少钢板的损耗量,加劲环沿钢板宽度方向布置,切割完毕后同样需将有关部件编号用油漆等醒目标志。

表 2 钢板下料极限偏差表

序号	项 目	极限偏差 /mm		检测方法
		DL/T5017-2007 标准	内控标准	
—	钢管管壁			
1	宽度和长度	±1	±1	钢盘尺
2	对角线相对差	2	1.5	钢盘尺
3	对应边相对差	1	1	钢盘尺
4	矢高(曲线部分)	±0.5	±0.5	钢琴线、钢板尺
二	瓦片			
1	弧度	用弦长为 2 m 的样板检查其内弧极限间隙 ≤ 3 mm	用弦长为 2 m 的样板检查其内弧极限间隙 ≤ 2 mm	弧度样板、钢板尺

(5)下料切割阶段质量保证措施。

利用“静态”的工序质量记录和“动态”的《工序验收卡》等多种质量控制手段确保产品质量。根据工序检查记录编制填写钢管下料记录并制作下料示意图,通过两者可直观、清楚地表达管节的错缝、周长、坡口、水流方向、管长、材质、厚度以及钢材的熔炼号、试验批号等,可充分提高划线的准确性并追踪钢板的使用情况。

①排料质量的控制。对人工号料的钢板,重点控制对角线的偏差和钢尺的修正偏差值,其好料的几何尺寸应满足设计图纸和规范的要求。

②切割工艺参数控制。切割工艺参数包括切割氧压力、气割速度、预热火焰能率、割嘴与钢板的倾斜角度、割嘴离钢板表面的距离等,其控制要点为:a. 气割氧压力:若气割氧压力不足,易使钢板割缝背面留下挂渣并难以清除,氧压力过高则易使割口表面粗糙。b. 气割速度:气割速度过慢,易使边缘熔化;过快则会产生较大的后拖量(沟纹倾斜)或割不穿。c. 割嘴与割件的倾斜角:气割厚度为 20~30 mm 的钢板时,割嘴应垂直于割件;当割件厚度超过 30 mm 时,将割嘴沿切割方向倾斜 5°~10°,待割穿后将割嘴垂直于割件;快割完时,割嘴沿切割相反方向倾斜 5°~10°。d.

(4)下料切割质量控制标准与检测。钢板下料切割的极限偏差应符合表 2 的规定。排料时应保证相邻纵缝距离大于板厚的 5 倍且不小于 100 mm,排料时应保证同一管节相邻纵缝间距不小于 500 mm。加劲环等弧形展开料切割并修正后用弦长 2 m 的弧形样板检测,其间隙应不大于 3 mm。采用经技术监督局检定的钢尺、盘尺进行检测,实际检测时应计入检定偏差修正值。自制的样板在使用前必须经质检部门检定合格后方可使用。

割嘴与割件表面距离一般控制在 3~5 mm,当割件厚度增大时,可适当缩短割嘴与割件表面的距离。

2.2 坡口制备方法

(1)坡口制备方法。先用数控切割机或半自动切割机切出直边,再用半自动切割机切出坡口。

(2)质量控制标准。板料坡口制备后,其成形尺寸的极限偏差应符合《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本型式与尺寸》GB985-88 和设计图样的规定。

(3)质量检测。每张板料坡口加工后应按上述要求进行检查并作记录。检测使用的钢盘尺、直尺等计量器具均应检定并合格,测量时应计入相应器具的修正误差。自制的样板和焊接检验尺在使用前需经质检部门检定,合格后方可使用且需定期复查样板的精度。

2.3 钢管瓦片压卷工艺

瓦片压卷为压力钢管制造的关键工序。瓦片压卷包括板料对中、压头、卷弧和修弧四道工序。直管、锥管瓦片采用三辊卷板机冷卷成形,瓦片压卷工艺具体如下。

2.3.1 直管、锥管瓦片的卷制

(1)板料对正与瓦片压头。

①卷板应与钢板的压延方向一致。卷板时利用门式起重机将钢板平吊至卷板机下辊一侧,启动下辊将钢板送入上下辊之间并利用卷板机上的对中装置将钢板对中,然后启动工作辊对钢板两端进行压头。在卷曲过程中,需注意尽量采用小进辊量反复多次卷制,以使其两端弧度满足要求。压头过程中,应最大限度地减少直边长度。

②严格控制钢板端部的弧度,防止对圆后局部内凹或外凸,控制钢板中心与卷板机轴辊中心的垂直度,防止瓦片扭曲。

③三辊卷板机压头时,通过移动下辊配合上辊进行,压头时利用弧形样板检测弧度至符合要求。

(2) 瓦片的卷弧与修弧。

①瓦片压头完成后,将卷板机下(侧)辊调整回原位,通过调整上辊反复卷制。卷制顺序为:先卷板端部,后卷中部。卷弧过程中,不断使用样板检查调整,尽量采用小进辊量卷制。

②卷制过程中,每次卷到边缘时应检查板边与卷辊是否平行。严格控制钢板中心与卷板机轴辊中心垂直,以防止瓦片卷制扭曲。

③对于同一种厚度的钢板,尽量采用同样多的压延次数,确保钢板延伸率一致。

④卷板时不允许锤击钢板,防止锤击造成的钢板表面缺陷。

⑤在卷制过程中,应及时检查并清除钢板上的氧化皮、铁锈及其它杂物。卷制过程中,若发现母材有拉痕、毛刺现象,应停止卷制,使用抛光机磨平后继续卷制;划痕严重时,应进行补焊并进行着色探伤检查。

⑥瓦片卷制完毕,应双吊点均匀着力进行吊装,防止着力不平衡造成瓦片变形,存放瓦片的地面应平整坚实。

(3) 锥管瓦片的卷制。

其卷制顺序仍为对中、压头、卷弧和修弧。卷弧时先卷端部,后卷中部。由于锥管上下游管口弧度和半径(或外形尺寸)均不相同,其展开平面的表面素线是互不平行的直线(与直管的表面素线为平行线不同),而且素线上各点的曲率均不相同,故其卷制方法与直管不同。卷曲时应按照其表面素线(即滚压线)进行。

锥管的其它卷制要求与直管等相同。在卷弧过程中均要不断使用弧度样板检查并采用小进辊

量反复卷制。将瓦片立放,检查其弧度和扭曲,对于不足之处再行修弧。

2.3.2 卷板质量控制

(1)检测所用的钢尺使用前需进行检定。卷制过程中,经常用样板检测其弧度,检查用样板应与瓦片曲率半径相配套。锥管应用吊线法测量其锥度。

(2)使用弧形样板检查瓦片时,对于每一块瓦片,均应检查其上、中、下三个部位。

(3)使用 $\delta = 1 \sim 2 \text{ mm}$ 的铁皮制作样板,弦长2 m。

2.3.3 瓦片卷制质量保证措施

①为保证瓦片弧度卷制的精度并最终确保钢管对圆质量,在卷弧检验时,使用弦长为2 m的样板检查弧度间隙应不大于3 mm且需经常检查弧度样板的准确性,以保证瓦片弧度满足精度要求。

②定期检查卷板机的设备性能,如制动系统、液压系统、检测系统和上下辊的平行度等,保证设备以最佳的性能投入使用。

③卷弧时,在合理的压延次数范围内尽量采用小进辊量,并经常检查卷曲弧度以免滚压过量。

④对于卷曲过程中产生的如氧化皮等杂物必须及时清除,否则将影响卷曲质量,损坏钢板和设备的性能。

⑤卷曲过程中,需加强对焊接坡口的保护,以免其受到损伤。

⑥检查瓦片弧度时,需将其立放在水平度符合要求的平台上,同一曲率处检查部位不少于3处。

⑦检查验收无误后,需将经卷板工序遗失的标识重新标志。

2.4 管节组装对圆

2.4.1 管节组装对圆工艺

直管、弯管、锥管全部在对圆平台上采用立式组装方式,调圆采用调圆架。

2.4.2 管节组装对圆工艺

(1)对于单节钢管组装对圆,均在用工字钢组成的放射状对圆平台上进行。对圆平台应全部安全可靠接地。

(2)经检查弧度和编号的瓦片吊装基本就位后,用事先焊接在挡块上的压缝器顶紧瓦片下部并将对接缝初步对正,检查对接缝的间隙是否符合要求,对装间隙按焊接试验确定的收缩量控制,

以保证焊后钢管周长达到规范要求的允许偏差。

(3)通过夹具上的压缝器精确调整瓦片组装焊缝的错边量,使其满足工艺图的要求,然后再次检查对接缝间隙,否则再次使用同样的方法调整。

(4)使用经过校验的钢盘尺、弦长为 2 m 的样板、间隙检查尺、错边量检查尺等检查钢管组装后的圆度(至少测四对直径)、两端管口周长、纵缝处弧度、管口平面度、纵缝间隙以及纵缝处错边情况并将其调整至合格。

(5)在钢管上加焊卡具、吊耳等附加物时,应注意不要伤及母材。临时附件若不影响下道工序可不拆除。

(6)钢管内外壁的局部凹坑或划痕深度大于 2 mm 时应进行焊补;若小于 2 mm 时,用砂轮打磨平滑过渡。

2.4.3 质量控制标准与检测

管节组装对圆各项控制指标极限偏差和检测方法应符合表 2 的规定。

表 2 管节组对质量指标极限偏差表

序号	检查项目	极限间隙 /mm		检测方法
		DL/T5017-2007 标准	内控标准	
1	管口平面度	3	3	水准仪测平台平面度,钢丝线拉十字线测钢管平面度
2	实测周长与设计周长差	$\pm 3D/1\ 000$ 且不大于 ± 24	$\pm 3D/1\ 000$ 且不大于 ± 24	钢盘尺测量
3	相临管节周长差	10	10	钢盘尺测量
4	钢管圆度	$\leq 3D/1\ 000$ 且 ≤ 30 至少测两对直径	$\leq 3D/1\ 000$ 且 ≤ 30 至少测四对直径	钢盘尺测同端管口相互垂直两直径之差的大值
5	单节钢管长度与设计值之差	± 5	± 5	钢盘尺测量
6	纵缝弧度(焊后)	1 200 mm 长样板检查间隙 ≤ 6 mm	1 500 mm 长样板检查间隙 ≤ 6 mm	样板检查实测的样板与纵缝的极限间隙
7	纵缝错边量	$10\% \delta, \leq 2$	$10\% \delta, \leq 2$	错边量检验尺
8	弯管平面夹角		偏差与设计商定	在平台上测放上下管口投影圆,吊线法检测
9	锥管锥度和管口倾斜		偏差与设计商定	在平台上测放上下管口投影圆吊线法检测锥度,斜度用水准仪检测

2.4.4 管节组装对圆质量保证措施

①施工前对瓦片的弧度、水流方向和编号等进行复核检查。瓦片编号不对或质量不合格时,应在其查清和处理合格后方可使用。

②鉴于组装平台工字钢基础的不平度控制直接影响钢管的管口平面度,故需使用水准仪定期复测对圆平台顶面,将其平面度控制在 2 mm 以内。

③待每节钢管瓦片吊装立放在组装平台上后,应至少有 3 个工字钢支撑点,瓦片吊装时要尽量考虑位置精确,以减少纵缝对接时的间隙和错边调整量。

④对接缝组拼时要同时兼顾钢管的圆度、平面度、单节周长和相临管节周长、纵缝错边和对口间隙、纵缝弧度等指标。

⑤临时附件的焊接及拆除要避免伤及母材,若不小心伤及时应按有关程序要求补焊和探伤检查。

⑥定位拉板装焊前、后均应严格复查各项组装指标,经检查无误后作好检测记录并移交下道

工序。

3 管节焊接及检验

3.1 焊接工艺评定

制作单位在其他电站(观音岩水电站)从事了 610 Pa 高强度钢管的制造和安装工作,因此,根据招标合同和《水利水电工程压力钢管制造安装及验收规范》的要求,依据其在其它项目完成的焊接工艺评定成果作为本项目焊接施工指导依据(表 3)。

3.2 焊接方法

施焊前,应对钢管管节的组装质量予以复检,合格后方可正式焊接。焊缝焊接是钢管制造过程中的重要环节,对于钢管的焊接,加工厂拟采用手工电弧焊。对焊接缺陷的处理采用手工电弧焊接方法。

3.2.1 焊前预热

(1)加热方式:焊缝预热采用履带式远红外加热装置进行。预热宽度为焊缝中心线两侧各 3

表3 压力钢管纵、环缝焊接规范(手工电弧焊)表

分层分道	焊条直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹	弧长 /mm
1、5	3.2	90~120	22~25	50~70	2~3
2~4、6~8	4~5	120~180	24~28	70~90	2.5~4
9~10	3.2~4	90~150	22~26	50~80	2~3.5

倍板厚且不小于100 mm。

(2)检测方法:加工厂使用表面温度计及远红外数字测温仪测定温度。测定宽度为焊缝两侧各3倍钢板厚度范围且不小于100 mm,在距焊缝

中心线各50 mm处对称测量,每条焊缝测量点不应少于3对。

推荐的焊接温控曲线见图1。

3.2.2 焊接顺序

温度 / °C

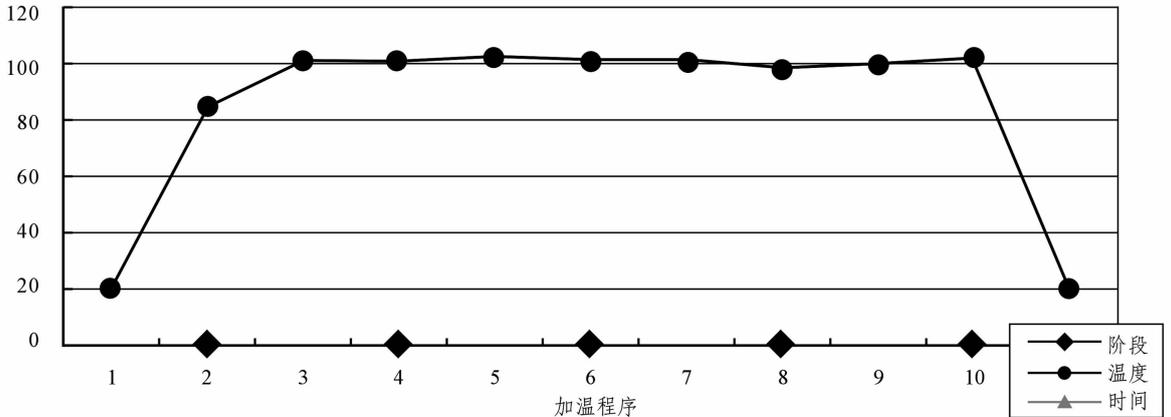


图1 推荐的焊接预热温控曲线图

在焊接过程中,为减少变形和收缩应力,在施焊前选定合适的焊接顺序且注意焊接变形量,随时调整焊接顺序,以保证钢管纵缝处的弧度。所有焊缝均严格按“焊接工艺规程”的要求进行焊接。

(1)纵缝和环缝采用不对称“X”形坡口,其中环缝坡口上半部大坡口在外侧,下部大坡口在内侧。焊接时注意保证对称并实施多层多道焊、分段倒退焊法。

(2)安装环缝施焊时,当预热温度满足要求后,首先焊接大坡口侧,然后转到钢管另一侧背缝进行碳弧气刨清根,接着再转向小坡口侧焊接完成焊缝。

(3)焊接过程中的其他要求为:

①纵缝焊接引弧应在坡口内进行,严禁随意在母材上引弧和断弧。

②多层焊的层间接头应错开。每一层焊道焊完后立即将焊渣清理干净,合格后再进行下一层的焊接。

③每条焊缝应一次连续焊完,当因故中断焊接时,应采取防裂措施。在重新焊接前,应将其表面

清理干净,确认无裂纹后方可按原工艺继续施焊。

④工卡具、吊耳、外支撑等临时构件焊接时,严禁在母材上引弧和熄弧。

⑤焊接完毕,焊工应进行自检,吊耳焊接后应探伤检查其合格与否。

3.2.3 焊接层间温度的控制

层间温度的控制是获得优良焊缝金属的必要条件。温度偏高,焊缝强度下降;晶粒粗大,低温冲击韧性下降,影响钢管的整体质量。层间温度过低,不易熔化,将导致焊缝熔合不好,进而影响焊缝质量,对钢管的整体质量也会造成影响。将层间温度控制在不低于预热温度,但最高不高于200°C。所有焊缝应尽量保证一次性连续施焊完毕,若因不可避免的因素确需终断焊接时,在重新焊接前,必须再次预热,预热温度不得低于前次预热的温度。

3.2.4 焊接线能量控制

焊接时,对线能量必须进行限制。在生产实践中,通过三峡工程、龙滩工程、瀑布沟工程等项目总结出的控制焊接线能量的经验是:尽量减少

焊条的横向摆动幅度,将焊条摆动幅度控制在3~5倍焊条直径为好。

3.2.5 焊接变形的控制与矫正

纵缝焊接过程中,由于钢管内外侧分别施焊而致使收缩不同步,易产生弧度变形,进而影响钢管的制造质量。在实际生产过程中,可以通过以下两种方法予以控制:

(1)通过调整焊接顺序控制弧度。

利用碳弧气刨清根、热输入大、温度高、使弧度能产生较大变形的特点进行控制。当对圆完成后,对于纵缝处弧度存在少许标准范围内的直边产生外凸时,则按焊接工艺首先在钢管内侧施焊,使其进一步外凸,然后使用碳弧气刨在背缝清根,促使其在相反方向产生较大变形,然后在背缝施焊,同时使用弧度样板经常性检查其弧度是否符合要求,如是,则按常规正反方向交替焊接;反之,则继续在背缝焊接,直至弧度符合要求。该控制办法需反复测量弧度以便调整焊接方向。

(2)通过预留反变形控制弧度。

在瓦片组圆时,根据焊接收缩情况适当预留2~3 mm反变形,然后通过正缝焊接、背缝清根施焊等控制弧度。

3.2.6 焊接质量保证措施

焊接质量的重点是焊接材料的控制、温控、线能量与焊接规范、角变形和焊接顺序等。

(1)焊接材料的控制:针对600 MPa钢材的焊接,焊材的保管和使用是关键因素。这个环节若控制不好,容易在焊缝中形成裂纹、气孔等缺陷,也是施焊时需重点控制的内容之一。

(2)温度控制:焊接时不但要保证焊缝内部质

(上接第96页)

当用户设置成上述不合理参数时,系统会作出警示性的提示,告知用户该参数不合理;如需确认按此操作,系统即会按此要求执行。

4 结语

在铜头水电站调速器改造过程中,通过试验对铜头水电站调速器PID参数进行了优化,使得铜头水电站调速器的调节能力能够满足机组运行要求。铜头水电站4台机组通过几年时间的稳定运行,证明了4台机组的PID参数设置合理。

参考文献:

量,还要兼顾其它机械性能指标,加强焊前预热、层间温度保持等几个方面方能够较好地保证母材性能免遭损坏,达到保证焊缝内部质量的目的。

(3)焊接顺序与纵缝角变形的控制:对纵缝焊接顺序、分层分道已详尽说明,但这并不是一成不变的。在焊接过程中,当检查发现弧度超差需对焊接顺序进行调整时,应在焊接规程规定的范围内灵活掌握。

4 管节整体调圆

管节焊接完成后,需要进行整体调圆。焊接并经验收合格的钢管在平面度不大于2 mm的对圆平台上进行调圆;管节调圆采用米字型调圆架,将调圆架吊入钢管内距管口约600 mm处,旋转米字型活动调圆架端部的螺旋千斤顶,使其顶紧钢管内管壁;用钢盘尺测量上下管口直径,边测量边调整活动支撑的丝杆,直至圆度符合要求为止,每端管口需测两对直径。

5 结语

本项目压力钢管制作通过对下料切割、坡口制备、瓦片压卷、管节组装等方面制定科学合理的工艺措施,全面控制形位尺寸,同时采取合理的方法(主要是通过焊接材料控制、层间温度控制、角变形和焊接顺序及控制线能量)。依据线能量公式 $q = IU/v$,尽可能地降低电流 I ,电压 U ,适当提高焊接速度 v ,从而减少了焊接变形,有效地控制了焊接质量。

作者简介:

王涛(1984-),男,河南商丘人,助理工程师,学士,从事水电工程建设机电安装技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[1] 魏守平,卢本捷.水轮机调速器的PID调节规律[J].水力发电学报,2003,21(4):112~118.

[2] 向家安,何可智,杨照辉.水轮机微机调速器PID参数的智能化设置[J].水电自动化与大坝监测,2007,31(1):54~56.

作者简介:

施德航(1974-),男,青海西宁人,工程师,学士,从事水电站检修技术与管理工作;

林胜(1972-),男,四川三台人,工程师,从事电力工程物资计划工作。

(责任编辑:李燕辉)