

瀑布沟水电站筒形阀安装工艺探讨

刘 杨 飞 ,王铭辉

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局 四川 彭山 620860)

摘要 瀑布沟水电站安装的圆筒形阀是目前国内直径最大的圆筒形阀。介绍瀑布沟水电站筒形阀的安装过程 ,特别针对瀑布沟水电站筒形阀组装过程中遇到的接力器提升杆垂直度调整、碟簧压缩量调整、导向条的焊接等关键工序进行探讨。

关键词 瀑布沟水电站 ,筒形阀 ,安装工艺

中图分类号 :TV734.1 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2011)S2-0013-05

1 概 述

瀑布沟水电站是大渡河干流水电梯级开发第 17 个梯级电站 ,坝址位于大渡河中游尼日河汇口上游 ,地跨四川省西部汉源县和甘洛县两县境。水电站以发电为主 ,兼顾拦沙、防洪等综合利用效益。电站装设 6 台单机额定功率 600 MW 的混流式水轮发电机组 ,在系统中担负调峰、调频及事故备用 ,枯水期担负峰腰荷 ,丰水期主要担负基荷和部分腰荷 ,是四川电力系统中的骨干电站之一。

瀑布沟水电站 2 号、4 号、6 号水轮机由东方电机股份有限公司制造供货。考虑瀑布沟水电站最高运行水头高达 181.7 m ,引水压力管道长达 460 ~ 507 m ,为提高机组运行的可靠性、灵活性和经济性 ,

减少停机时漏水对导水机构和转轮的破坏 ,以及事故状态下紧急切断水流防止机组长时间飞逸 ,水电站设置了筒形阀。

瀑布沟水电站筒形阀是东方电机股份有限公司所产目前国内直径最大、重量最重、安装工艺最复杂、精度要求最高的筒形阀。近年国内已安装的筒形阀参数见表 1。瀑布沟水电站筒形阀主要参数见表 2。

2 筒形阀结构、止水及机械同步原理

a. 结构形式。筒形阀装设于水轮机固定导叶与活动导叶之间。在关闭时落于底环上 ,截断水流并与顶盖和底环形成密封 ,开启时 ,位于水轮机座环和顶盖间的空腔室内 ,阀体底边与顶盖抗磨板齐平 ,不干扰水流流态。筒形阀由导向条(焊于固定导叶

表 1 近年国内已安装的筒形阀参数

电 站	单机容量/ MW	最大 水头/m	流量 ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	转速 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	筒体/mm		筒体壁厚/ mm	筒体高度/ mm	接力器 直径/mm	筒体 重量/kg	同步 形式
					内径	外径					
石 泉	46	47.5	131	136.4	5 135	5 375	120	1 485	320	22 875	机械
大朝山	225	87.9	345.9	115.4	7 697	7 937	120	1 815	320	42 722	机械
漫湾二期	300	99.2	389	115.4	8 018	8 278	130	1 890	350	49 003	电液
小 湾	700	216	360.3	150	8 330	8 690	180	1 360	400	50 671	电液
锦 屏	600	240	331.3	142.9	8 388	8 748	180	1 250	400	46 525	电液
瀑布沟	600	181.7	435	125	8 988	9 348	180	1 630	400	65 714	机械

表 2 瀑布沟水电站筒形阀主要参数

筒形阀筒体 外径/mm	筒形阀筒体 高度/mm	接力器 直径/mm	接力器操作 油压/MPa	筒形阀动水 关闭时间/s	最大升压 水头/m
9 348	1 630	400	6.3	约 60(可调)	250
筒形阀筒体 壁厚/mm	接力器 个数/个	接力器 行程/mm	筒形阀正常 开启时间/s	最大工作 水头/m	安装初期漏水量/ ($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$)
180	6	1 525	约 90(可调)	181.7	10

作者简介 :刘 (1976—)男 ,重庆开县人 ,工程师 ,主要从事机电安装工作。E-mail :283874980@qq.com

上)筒形阀本体、筒形阀接力器和机械同步机构 4 大部分组成(见图 1 和图 2)。

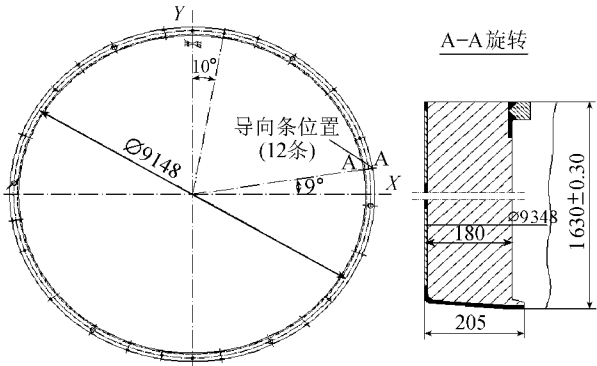


图 1 筒形阀结构简图

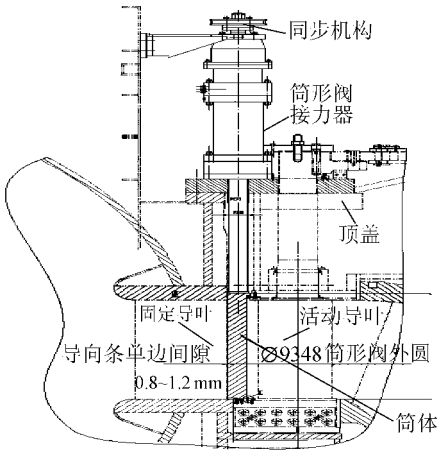


图 2 筒形阀装配简图

b. 筒形阀止水原理。筒形阀阀体布置在活动导叶与固定导叶之间,筒形阀的上密封采用带凸缘的橡皮板与压环一起装在顶盖上(图 3);下密封采用压板橡皮条结构装在底环上(图 4)。

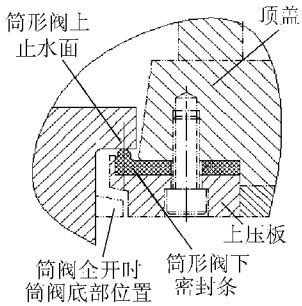


图 3 筒形阀的上密封

c. 机械同步原理。瀑布沟水电站筒形阀采用机械同步方式,为了将接力器的直线运动转换成同步链轮的回转运动,并使 6 个接力器达到同步运动,采用了滚动丝杆副。丝杆装于接力器缸盖上部,由 2 个单向推力滚珠轴承所限位,径向位移由安装在上缸盖下端固定铜套导向定位,丝杆轴密封采用 O 形密封圈,丝杆只能作回转运动。为使 6 个操作接力器达到同步运动,以使筒形阀垂直上下运行时不

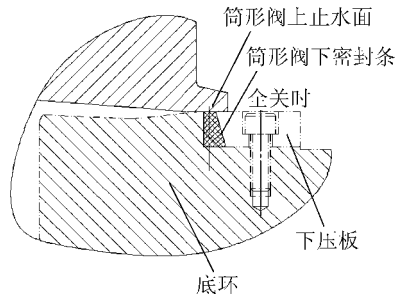


图 4 筒形阀的下密封

至倾斜发卡,在 6 个接力器滚柱丝杠副顶端装有双层链轮,然后用 6 圈链条将 6 个链轮彼此串联起来,从而保证回转链轮的同步。一旦由于筒形阀发卡,该接力器停止运动,而由相邻链轮的传动使该接力器丝杆继续回转,则丝杆将产生轴向移动,当超过碟簧的预载力时,碟簧被压缩,迫使行程开关动作,使四通三位阀回到中间位置,使整个操作机构停止运动,进行事故的处理。

在每圈链条的中部都装有拉紧链轮装置,使链条保持一定的张力,如遇筒形阀在操作时发卡,链条的张紧力超过额定负载时,滑块压缩板簧组,使装在支架下的限位开关接点闭合,使四通三位阀回到中间位置,使整个操作机构停止运动,以进行事故处理。

3 安装方法

3.1 筒形阀的组装焊接

筒形阀阀体分两瓣运抵工地。组装前先对筒体分瓣面、组装螺栓孔进行清理,并对螺栓与螺孔进行试配。将两瓣筒体调平后进行对装,调平组合后的筒体圆度应不超过 1 mm,上下平面的水平度应在 0.30 mm 内。

两瓣筒形阀体立面焊缝预热至 80℃ 并保温 30 min,然后开始焊接。焊接时均采用分段退步方式,先后选用 $\varnothing 3.2$ 和 $\varnothing 4.0$ 进行打底焊接和立缝焊接,焊接时在组合缝内外焊缝处对称施焊。每层焊接完成后应锤击消应,同时每层焊接后应进行 MT/PT 探伤并符合要求。此外在缝处适当位置架设两只百分表以监测焊接过程中的变形。焊接完成后再次复查筒体圆度、导向条垂直度、筒体上下面的平面度。

3.2 筒体与顶盖组装

将顶盖吊起并调平至 0.02 mm/m 范围内吊至筒形阀上方,调整顶盖与筒体方位、同心,使方位、同心基本一致后下落顶盖。调整筒体与顶盖同心,调整时以筒形阀提升杆安装孔为基准测量顶盖上接力器放置位置的安装孔与筒体提升杆安装孔同心在 0.10 mm 以内。

3.3 筒形阀接力器安装

筒形阀接力器与筒形阀装配如图 5 所示,筒体

与接力器提升杆采用埋入式螺栓连接,连接螺母采用 M110×4 螺母,置于筒体上开设的窗口内,外侧用20 mm不锈钢板封堵。与大朝山、漫湾一期工程的旋入式螺栓连接相比有如下优点:①有效避免筒体在安装或拆卸过程中损坏螺纹;②当提升杆连接螺栓折断或接力器发生事故时,可以实现在机坑内检修处理,而无需把筒体吊出机坑。

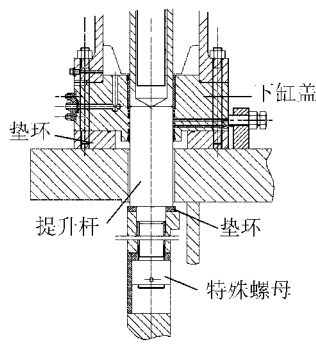


图5 筒形阀接力器与筒形阀装配简图

根据厂家提供的安装说明书,先安装垫环,将垫环与顶盖焊接,打磨垫环上平面,使其水平满足 0.03 mm/m 的要求,安装接力器提升杆,把紧特殊螺母,通过打磨垫环来调整提升杆的垂直度,待提升杆垂直度合格(0.1 mm/m)后,将提升杆吊出,再安装接力器下缸盖,再次安装提升杆,复测提升杆的垂直度,如果提升杆的垂直度不满足要求,必须将接力器下缸盖、提升杆再次吊出,并再次打磨垫环。

实际安装过程中,在将提升杆吊出安装接力器下缸盖后,检查发现重新装配后的提升杆垂直度超出标准要求(个别提升杆垂直度达 0.39 mm/m),经反复对垫块进行修复,耗时近 1 月仍不能保证提升杆垂直度满足要求。后通过组织各方分析,认为此方案存在以下不足:①提升杆至少经两次拆装,但无精确定位设计,回装时难以保证前后位置绝对一致。②特殊螺母的加热温度、螺母旋转角度都影响提升杆的垂直度。③提升杆垂直度要求偏高(0.10 mm/m),打磨量难度大,手工打磨难以满足要求。④筒形阀提升杆与垫环接触面加工精度较差。经仔细分析后对提升杆垂直度调整改进如下:

a. 将顶盖上安装垫环的位置清理干净,调整顶盖水平在 0.05 mm/m 内,并仔细清理修磨垫环与顶盖接触面(垫环在从接力器上拆下时,应在接力器和垫环的对应位置打上编号),将垫环对号放置在安装位置,用塞尺检查组合面间隙,要求 0.03 mm 塞尺不能塞入。

b. 调整垫环与顶盖上提升杆安装孔同心度在 0.10 mm 内,对称点焊垫环侧面于顶盖上,采用分段、对称、退步焊接(先焊接外侧焊缝)。焊接完成

后,用框式水平仪检查垫环上平面水平,应在 0.03 mm/m 以内,如果水平达不到要求,则应用角磨机及抛光砂轮修磨处理直至合格。

c. 将接力器下缸盖吊装在垫环上,初步找正其与垫环的同心,此时不要把合螺栓,检查接力器下缸盖平面的水平应在 0.03 mm/m 内,否则应吊开缸盖,处理垫环平面。接力器下缸盖水平合格以后,安装垫环在提升杆的安装孔对应位置,垫环与筒体应贴合紧密。吊起提升杆,装入筒体对应位置,并把紧特殊螺母,把紧特殊螺母采用加热旋转螺母角度的方式,旋转角度为 30°,同时检查提升杆与下缸盖间隙应均匀,用框式水平仪检查提升杆的垂直度,不得大于 0.20 mm/m,如提升杆的垂直度不满足要求,将特殊螺母加热退出,将垫环取出修磨垫环与筒体的接触面。修磨后将垫环重新装入,再安装提升杆,直到提升杆垂直度合格。

通过提升杆垂直度调整工序及适当降低了垂直度要求,提升杆垂直度调整仅用 10d 就达到了要求。在完成接力器下缸盖安装和提升杆垂直度调整后,按照厂家提供的安装说明书,按接力器缸→接力器上缸盖→下部单推力轴承→传导螺母→轴承座→上部单向推力轴承→碟簧→支撑板→其他附件顺序进行安装。下面仅说明碟簧的安装调整,其余附件安装过程不再赘述。

3.4 碟簧安装调整

a. 将下瓣碟簧放置在推力板上,测量碟簧与丝杆距离,在四周均匀测量 4 点,偏差不得大于 0.5 mm。

b. 将上瓣碟簧压在对位位置,并装上支撑板,带上支撑板把合螺栓,暂时不把紧。

c. 调整上下碟簧错牙不得大于 0.20 mm,通过测量碟簧外圆与推力板外圆的距离来调整碟簧与丝杆同心,同心度不得大于 0.20 mm,合格以后,对称把紧支撑板把合螺栓,但把紧之前应测量支撑板与推力板之间距离,把合后碟簧的压缩值为 2.76 mm(螺栓把紧力为 12.3 kN),偏差不得大于 0.02 mm。

d. 接力器在安装间的装配及与筒形阀体的连接完成后,可整体吊入机坑参与导水机构的预装。

3.5 青铜导向条的安装与焊接

筒形阀与顶盖整体吊入机坑后,采用传统的电测法调整顶盖与底环的同心度满足要求,并将筒体落至全关位置。通过测量筒体与固定导叶的距离,并考虑导向条与筒体的间隙为 0.8~1.2 mm,对青铜导向条(1800 mm×30 mm×15 mm)进行配刨,同时留 0.1 mm 左右的打磨余量,待导向条焊接之后进行打磨。将 12 根导向条(导向条分 3 段)固定在座环固定导叶上,并检查导向条与固定导叶间隙,导向条贴

严以后 ,两者之间用 0.03 mm 塞尺检查 ,不能塞入 ,否则应修磨固定导叶。待检查合格以后 ,将导向条的卡子点焊在固定导叶上 ,每根导向条用卡子不得少于 6 个 ,压紧导向条 ,为避免压坏导向条 ,每个卡子与导向板之间应该加铜垫。

焊接采用分段焊接(图 6) ,分段焊接可以释放部分焊接热应力 ,有利于减少焊接裂纹。

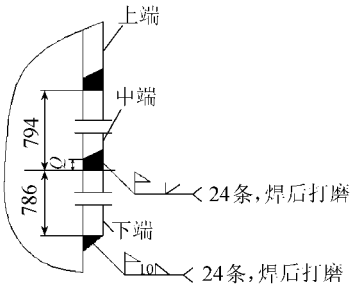


图 6 导向条焊接示意

焊材采用 $\varnothing 2$ mm 铝青铜焊丝 ,焊接方式为手工氩弧焊 ,钨极为 2.5 mm ,焊接工艺参数见表 3。

表 3 青铜导向条焊接工艺参数

焊丝直径/ mm	电压/V	平、横 电流/A	立焊 电流/A	仰焊 电流/A	焊接速度/ ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)
2	22~25	150~180	130~160	120~150	5~8

焊接时先采用 507 焊条对固定导叶出水边进行过渡堆焊 ,采用分段跳焊 ,多层多道 ,焊接、打磨后进行 PT 检查。堆焊后再焊接导向条 ,导向条焊接顺序为中段导向条→下段导向条→上段导向条→导向条连接处 ,采用分段焊接 ,每段长度不大于 350 mm。焊接时要求铜、钢母材都融合良好 ,收弧时填满弧坑 ,缓慢提起焊枪 ,锤击收弧处。每个导向条留 10 mm 长的排气孔 ,待焊缝全部焊接后再进行封焊。焊接完成后采用 PT/MT 检查焊缝、热影响区有无裂纹、未熔合、夹渣和密集性气孔等缺陷 ,若发现存在缺陷 ,应用风铲清除 ,用氩弧焊补焊。

焊接完成后采用风铲清除飞溅、焊瘤 ,用钢丝刷清除焊缝表面氧化渣 ,并用角向磨光机修磨焊缝过高处及固定卡的残根 ,补焊缺肉处并打磨光滑。通过吊钢琴线测量并修磨导向条垂直度 ,垂直度要求在 0.05 mm/m 以内。

3.6 同步机构的安装

在顶盖与座环螺栓把紧以后 ,便可以进行同步机构和指示器的安装(图 7)。

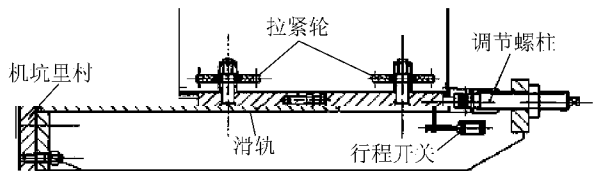


图 7 同步机构安装示意

安装接力器支架基础板时调整螺套、轴承支架及基础板的相对距离 ,其中保证支架与基础板的间隙在 2 mm ,安装高程应根据实际座环高程做适当调整 ,偏差不得大于 ± 0.5 mm ,之后进行基础板的点焊固定 ,由于基础板焊接时可能产生变形 ,因此支架分半把合螺栓不要把紧。

基础板焊接完成以后 ,利用接力器支架上的拉顶螺栓来调整支架卡盘与接力器轴承支架的配合 ,使中间位置贴上 ,两侧对应间隙相等 ,然后把上另一半卡盘 ,卡盘在把合时不得用太大力 ,可根据接力器链轮装配安装。

根据拉紧轮装配中的设计高程 ,并结合座环安装高程 ,进行拉紧轮支架装配的调整与焊接 ,在拉紧轮滑道上用框式水平仪测量滑道水平 ,应在 0.15 mm/m 以内 ,如果水平不满足要求 ,可在支架与滑道之间加垫调整 ,直到符合要求为止。同时所有拉紧轮高程偏差不得大于 ± 0.5 mm。

安装链条后 ,旋转顶丝使拉紧轮前后动作 ,使内外圈链条松紧一致。

3.7 密封、油管路安装以及筒形阀在机坑内的动作试验及调整

上下密封条在安装时 ,应根据实际情况进行配割钻孔并粘接成整圆 ,并按编号安装密封压板 ,密封压板在顶盖或底环吊装前 ,在安装间试配编号并在顶盖、底环对应位置打上标记。

密封压板安装后 ,不得高出顶盖、底环抗磨面 ,允许稍低于抗磨面。同时密封压板把合螺栓在把合时应涂上螺纹锁固剂。在完成以上安装以后 ,将把合螺栓侧面点焊在密封压板上。注意在上密封安装时 ,筒体应固定在 90° 开度左右 ,以便安装。

对称拆除筒体与顶盖把合螺栓。派专人在 12 根导向条处监视筒形阀的动作情况 ,同时每人均有塞尺 ,作为检查筒体与导向条间隙用。同时监视人员通过 500 mm 的钢板尺检查筒形阀动作距离是否一致。在筒形阀动作之前 ,每个监视人员 ,测量出筒体的起始位置。机坑内也应该有专人监视同步机构动作情况。筒体在下落过程中 ,筒体下方不得有人 ,以免筒体下落时失控而发生事故。

由接力器上腔缓慢进油 ,注意控制筒体的下落高度 ,每次下落高度不超过 200 mm ,下落过程中 ,导向条旁边的监视人员应注意筒体不得与导向条卡阻 ,无异常后 ,操作筒体上升 ,在上升过程中也应该有专人监视筒体不得与导向条卡阻。同时 ,在机坑内的监视人员也要监视同步机构的动作不得异常。

以上工作结束以后 ,将筒体下落到底部 ,用塞尺检查筒体与导向条间隙。如间隙不满足要求 ,将筒

体提到顶部,用砂轮机修磨固定导叶上的导向条,以达到设计间隙。

在筒体下落到底部的时候,安装筒形阀指示器。

在筒形阀全开时,将筒体限位销放入顶盖对应位置,并按要求焊接。

4 结 语

在瀑布沟4号、6号机筒形阀的安装过程中,合理调整了筒形阀接力器安装工序,满足了筒形阀接力器提升杆的垂直度和碟阀压缩量、链条张紧度的要求,筒形阀与顶盖整体参与导水机构的预装和安装,避免了筒形阀变形,缩短了导水机构安装工期,为类似机组筒形阀的安装提供了借鉴:

a. 筒形阀阀体厚度较大,分瓣组合缝处的焊接坡口尺寸究竟设计成多大,是一个值得研究的问题。实践表明,瀑布沟电站采用U形坡口的设计,有效地避免了焊接对筒形阀阀体尺寸的影响,值得借鉴。

b. 筒形阀预装和组装过程中采用与顶盖一体化吊装的方法,能有效避免吊装过程中引起的筒形阀变形。

c. 筒形阀与顶盖、接力器的组装,密封装置的安装尽量考虑在安装间进行,有利于组、安装质量及进度的控制。

d. 铝青铜导向条采用分段焊接,可以释放部分焊接热应力,有利于减少焊接裂纹。

(收稿日期 2011-07-10 编辑:马敏峰)

(上接第12页)两侧形变,使密封条与工作面紧密结合从而达到止水效果。下密封条出现渗水时采用同样的处理措施。

4 改进方案

根据实践经验对密封的设计提出2种改进方案。

4.1 止口调整法

减小封水环与座环的密封止口深度,首先根据密封条的大小算出膨胀量(也可采取止口与密封条等径),再将密封条放置后与止口凸台接触,同时增加凸台的宽度,减小凸台与座环间的理论间隙(参考设计值为15mm),可在密封条上面加压,压板下面加一周垫片,使密封条处于一种上动面和下静面把合的止水方式,见图6。

4.2 密条直接放入法

取消封水环密封止口,减小封水环与座环间的设计间隙,直接将密封条放入倒角槽内,靠密封条上面的压板压紧密封条而止水,封水环间隙与座环间隙参考设计值为15mm,见图7。

上述2种方案简单实用,而且保压承受压力高(可达4MPa),调节余量很大,可作为设计参考。

部实测间隙达到43~45mm,厂家设计技术要求密封条单侧压缩量为4~5mm,密封条安装后的压缩余量达到相关技术要求,按设计原理完全能保压。但通过第1次水压试验失败分析和技术改进后对6号机蜗壳进行第2次充满水试验,当试验压力升到2.3MPa时,上下密封条局部出现渗水现象,压紧压板调整装置上的螺栓后无渗水,继续试压且试验压力达到3.75MPa(设计值)时所有周向密封无一出现渗漏现象,试压一次成功。在长达4个多月的蜗壳保温保压混凝土浇筑过程中,上下一周密封保持试验时的良好止水状态,其压力值稳定,变化幅度在规范范围内,确保了保温保压混凝土浇筑施工,实践证明通过技术改进后的密封装置满足水压及保温保压混凝土浇筑要求。

首台机组的试验成功为后面几台机组蜗壳的水压试验提供了有力的技术保证,本次技术改进得到了厂家、业主、监理的好评,并比原计划蜗壳浇筑工期提前了38d,为首台机提前发电赢得了宝贵的时间,创造了间接经济效益。

(收稿日期 2011-07-10 编辑:高建群)

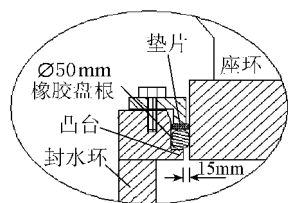


图6 止口调整法
改进后的密封

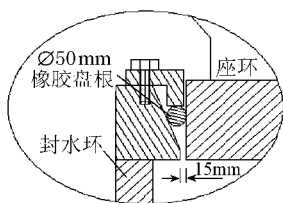


图7 密条直接放入法
改进后的密封

5 结 语

由于封水环制造、运输、组焊以及座环圆度和封水环自身圆度等原因,封水环组焊安装后与座环局

