

港珠澳大桥青州航道桥钢锚箱外形尺寸控制

李峰 潘丽婷

【摘要】港珠澳大桥青州航道桥为双塔双索面斜拉桥，钢锚箱为索塔上的全焊接锚固结构。钢锚箱外形尺寸较小且结构复杂，制造精度要求很高。本文通过对钢锚箱结构进行分析研究，按照其加工制造重点与难点制定相应的钢锚箱生产控制工艺，以保证钢锚箱外形尺寸满足规定要求。

关键词：钢锚箱；外形尺寸；控制；锚点；扭曲；高度；平行度

1. 工程概况

港珠澳大桥是连接香港、珠海及澳门的特大型交通基础设施，为珠三角地区新的地标性建筑。在标准方面同时满足内地、香港及澳门三地建设标准，设计使用寿命120年。大桥工程包括三项内容：一是海中隧道工程；二是香港、珠海和澳门三地口岸；三是香港、珠海、澳门三地连接线。其中主体桥梁工程全长约22.9km。

青州航道桥为主体桥梁工程的一部分，为双塔双索面钢箱梁斜拉桥，桥跨布置1150m，桥梁钢结构总吨位2.971万t。

钢锚箱为青州航道桥斜拉索锚固结构，设置在索塔上塔柱中，总高度30.5m。每个索塔上有24个钢锚箱节段，双塔共计48个钢锚箱。钢锚箱主体结构采用Q355NHD耐候钢，单个钢锚箱最重15.9t，钢锚箱结构如图1所示。

示。

2. 钢锚箱结构特点

青州航道桥钢锚箱为全焊接结构，钢锚箱全长5200mm，宽1000mm，高2500~3000mm，宽度仅1000mm在钢锚箱结构中较为少见；钢锚箱竖向中心线以11.2:1的倾角倾斜，箱体竖向截面为平行四边形；每个钢锚箱上含有两个锚点，锚索中心线成扇形布置，且非对称。由以上三因素可以看出，此钢锚箱尺寸较

小，且非传统的立方体；内部角度复杂，锚点数量少，整体外形尺寸控制难度较大。

3. 钢锚箱外形尺寸控制

(1) 钢锚箱外形尺寸控制要求 港珠澳大桥的技术规范对钢锚箱的制造质量做了详细的要求与规定，包括钢锚箱材料、外形尺寸、焊缝焊接等。其中外形尺寸涉及钢锚箱车间制造的整个工艺流程，是需要重点控制的环节。相邻两个钢锚箱间采用法兰盘式结构顶紧连接，之后使用高强螺栓紧固。为保证钢锚箱间传力可靠，要求钢锚箱上下端面进行机加工。技术规范中对钢锚箱基本尺寸偏差及机加工偏差的要求，如表1所示。

(2) 钢锚箱外形尺寸控制重点与难点 通过对钢锚箱结构特点进行分析与研究，判定以下几点需要对其在整个制造过程中加以重点控制。

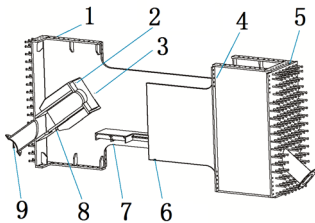


图1 钢锚箱结构

- 1.上下连接板 2.锚箱承压板 3.锚垫板
- 4.竖向连接板 5.端部承压板 6.侧拉板
- 7.横隔板 8.腹板 9.斜套筒单元

表1 钢锚箱基本尺寸及机加工允许偏差

序号	项 目	允许偏差
1	钢锚箱长度/mm	±2
2	钢锚箱宽度/mm	±2
3	钢锚箱高度/mm	±1
4	锚垫板角度(°)	±0.15
5	钢锚垫板位置 锚管出口点坐标/mm	顺桥方向X
		横桥方向Y
		高度方向Z
7	箱口对角线偏差/mm	≤3
8	箱体平面度/mm	±3
9	箱体扭曲/mm	≤2
10	上、下端面与轴线的角度偏差(″)	≤25
11	上下两端面平行度(″)	≤50
12	端面平面度/mm	≤0.2
13	加工表面粗糙度/μm	12.5

第一，锚垫板上索孔中心点坐标。锚垫板上索孔中心点坐标关系到钢锚箱安装时的空间定位、斜拉索能否位于钢锚箱斜套管中心以及斜套管处阻尼能否顺利安装等，是钢锚箱各控制项点中的重点。

第二，箱体变形。钢锚箱焊后变形主要表现为两种形式：一种是上下端面间扭曲，另一种是左右端面间扭曲。两种扭曲变形均会影响钢锚箱间的连接。

第三，钢锚箱高度。高度是钢锚箱的基本尺寸，钢锚箱的总体高度需要靠每节钢锚箱的具体高度保证。

第四，钢锚箱上下端面与轴线的角度偏差及上下端面平行度。钢锚箱间连接依靠上下端面的法兰盘顶紧连接，上下端面法兰盘平面与钢锚箱中心线的夹角、上下端面间的平行度直接影响到钢锚箱总体拼装时的垂直度。技术规范要求，钢锚箱预拼装垂直度公差要求控制在3mm/10m范围内，如果钢锚箱端面角度偏差超差，即很难实现预拼装垂直度公差要求。

4. 钢锚箱外形尺寸控制

针对上述钢锚箱尺寸控制的重点与难点，车间生产从下料、组装、焊接、修整及机加工等各工序制定相关工艺措施加以保证。

(1) 锚垫板上索孔中心点坐标控制 钢锚箱制造时，根据结构特点，锚头零部件首先组成块体并机加工，如图2所示。机加工包括锚头两组焊边、锚垫板平面及索孔边缘。机加工精度达到了±0.5mm，有效的保证了两组焊边平行度、锚垫板与组焊边夹角及索孔中心位置。

其次锚头块体与侧拉板组装时，除对划外还应使用全站仪监测索孔中心位置，索孔中心点坐标误差控制在±1mm以内。

主体结构焊接完成，钢锚箱

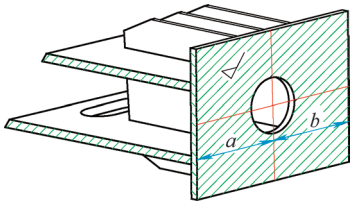


图2 锚头加工示意

进入修整及机加工工序。修整及机加工时划线，均以锚点相对标高为基准首先调正钢锚箱。调正钢锚箱时以锚点中心为中心向锚下承压板两侧各返一段距离，交点作为调正基准点。在立体图上放样并确定各基准点相对标高，控制实际相对标高误差在2mm以内，如图3所示。各工序均围绕锚点中心坐标进行调正，能始终确保锚点中心坐标在公差范围内，从而中心点坐标可以得到良好的控制。

(2) 箱体变形控制 钢锚箱扭曲变形主要从焊接方面控制。

第一，该钢锚箱采用Q355NHD耐候钢，焊接方法及焊接材料如表2所示。

第二，预热及道间温度，如表3所示。

第三，熔透角焊缝CO₂气体保护焊参数按表4执行。

第四，在焊接顺序方面加以控制。焊接时，首先对称焊接两个锚箱单元的锚下承压板、腹板与下面的侧拉板间熔透角焊缝1、2的根部焊道3~5道（平位焊），之后对称焊接两个锚箱单元的锚下承压板、腹板与上面的侧拉板间熔透角焊缝3、4的根部焊道3~5道（仰位焊），钢锚箱翻转180°后对称焊接其他焊道，钢锚箱焊接顺序如图4所

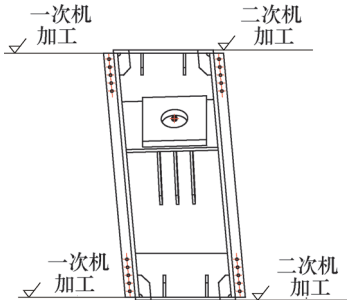


图3 钢锚箱调正方法

表2 焊接方法及焊接材料

序号	板厚组合/mm	焊接方法	焊接材料/mm	适用范围
1	各种组合	焊条电弧焊或CO ₂ 气体保护焊	JAC-818W (φ4.0) LW-81Ni1 (φ1.2)	定位焊
2	40+ (40、50、80)、 24+ (40、50、80)	CO ₂ 气体保护焊	LW-81Ni1(φ1.2)	锚腹板与锚下承压板坡口角焊缝；锚头内隔板角焊缝
3	40+ (40、50、80)	CO ₂ 气体保护焊	LW-81Ni1(φ1.2)	锚腹板与侧拉板熔透角焊缝
4	30+40、40+40、24+40、 (30、40)+60	CO ₂ 气体保护焊	LW-81Ni1(φ1.2)	端部承压板与腹板、侧拉板坡口角焊缝； 端面连接板与端部承压板、侧拉板坡口角焊缝； 竖向连接板坡口角焊缝；C类钢锚箱端部承压板、侧拉板与座板熔透角焊缝
5	各种组合	优先采用CO ₂ 焊；局部返修等也可采用焊条电弧焊	LW-81Ni1 (φ1.2) JAC-818W (φ4.0)	横隔板、锚垫板等其他焊缝

表3 预热及道间温度

材质	板厚/mm	预热温度/℃	预热范围/mm	道间温度/℃
		焊条电弧焊、CO ₂ 气体保护焊（包括定位焊、返修焊）		
Q355NHD	≤24	—	—	5~200
	>24~40	80~120	≥100	80~200
	>40	120~150	≥100	120~200

表4 熔透角焊缝CO₂气体保护焊参数

熔敷简图	板厚/mm	焊材/mm	焊道	焊接位置	焊接电流/A	电弧电压/V	气体流量/L·min ⁻¹
	40 50 80	LW-81Ni1 (φ1.2)	打底	平位	260±20	32±3	15~25
				仰位	200±20	28±2	15~25
			填充	立位	200±20	28±2	15~25
			盖面	立位	200±20	28±2	15~25

示。

(3) 钢锚箱高度控制 根据以往制造经验，钢锚箱焊接后高度会有降低的趋势，因此在钢锚箱高度方向预留焊缝收缩量及机加工量，并进行端面机加工以保证钢锚箱整体高度。钢锚箱机加

工分两次，一次在焊接端部承压板之后，二次在焊接对接法兰盘之后。

钢锚箱在焊接完端部承压板之后，箱内填充量大的焊缝均已焊接完成，钢锚箱变形已经基本达到最大化。选择此阶段进行

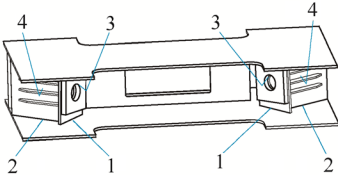


图4 钢锚箱焊缝顺序

注：1~4为焊接顺序

一次机加工，可以在前期就消除焊接收缩影响，完成残余应力释放，使钢锚箱高度达到理论要求；同时可以防止二次机加工时出现过大偏差，从而影响对接法兰盘厚度。一次机加工虽然属于粗加工，但对钢锚箱高度控制方面起到了关键作用。

焊接对接法兰盘之后，进行二次机加工。二次机加工属于精加工，在此阶段，所有焊接工作均已完成，钢锚箱尺寸不再受焊接及火焰修整影响，因此机加工完成的状态即是钢锚箱成品的最终形态，如图5所示。

(4) 钢锚箱上下端面平行度及角度控制 为保证钢锚箱端面角度，钢锚箱端面在二次机加工前，在装夹找正时做准确控制。根据在钢锚箱端部承压板上所划的钢锚箱中线，将钢锚箱横向放置，加工面铅垂。使用水准仪测量钢锚箱中线两端标高，计算钢锚箱中线与水平线角度倾斜，将中线角度误差控制在 $\pm 0.2^\circ$ 以内，同时走行机床观察机床机加工面与钢锚箱机加工线的重合度，双重保证钢锚箱的装夹角度，如图6所示。

装夹检测合格，机加工钢锚箱端面。使用千分尺测量钢锚箱四角高度，换算成角度与平面度

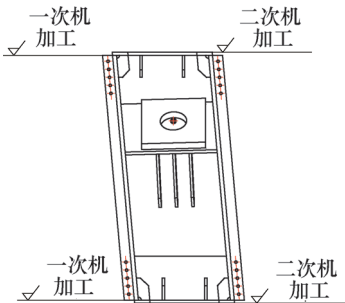


图5 钢锚箱机加工示意

公差数据，公差数据不合格者重新装夹加工。

5. 钢锚箱成品质量

钢锚箱制造完成后进行外形尺寸检测（48个钢锚箱中具有代表性的1个），结果如表5所示。

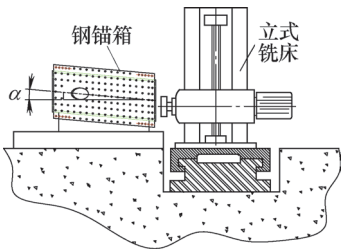


图6 钢锚箱装夹示意

从表5可以看出，钢锚箱各外形尺寸检测项点均满足技术要求，各重要项点控制良好。

6. 结语

钢锚箱为焊接结构，焊接结构的缺点之一就是存在各种焊接变形，进而影响结构的总体外形尺寸。为使钢锚箱的外形尺寸得到良好的控制，钢锚箱在生产过程中，各环节均应制定相应的工艺控制措施。合理的控制措施不但能保证焊接结构的制造质量，同时可以提高生产效率，减少制造成本。

表5 钢锚箱外形尺寸检查结果

锚箱编号					GMX5Z-1											
序号	检测项目	理论值 /mm			实测值 /mm										允许 偏差 /mm	
1	锚箱 长度	$L_{上}$	5260	$L_{下}$	5260	近侧	$L_{上}$	5258	$L_{下}$	5258	远侧	$L_{上}$	5258	$L_{下}$	5259	± 2
2	锚箱 宽度	$B_{上}$	1000	$B_{下}$	1000	边跨	$B_{上}$	998	$B_{下}$	998	中跨	$B_{上}$	999	$B_{下}$	1001	
3	锚箱 高度	$H_{近}$	2501	$H_{远}$	2501		$H_{近}$	2502	$H_{远}$	2502		$H_{近}$	2502	$H_{远}$	2502	± 1
4	锚垫板 位置	X_1	-1600	X_1'	1600	X_1		-1599.4			X_1'		1600.2		± 4	
		Y_1	-110	Y_1'	-112	Y_1		-110			Y_1'		-112.9			
		Z_1	1785	Z_1'	1815	Z_1		1788			Z_1'		1817.7			
5	箱体 扭曲	—				0.5										≤ 2
6	上下端 面与轴 线角度	—				横向：19.595 ″ 纵向：1.765 ″										25 ″
	偏差															
7	端面平 行度	—				横向：26.8 ″ 纵向：7.058 ″										50 ″

参考文献：

[1] 周宇娟. 港珠澳大桥青州航道桥钢锚箱制作工艺[J]. 钢结构, 2015 (06) : 30-34.
[2] 何艳萍. 公路大桥索塔钢锚箱关键制作技术及焊接变形控制[J]. 金属加工(热加工), 2014 (06) : 79-81, 86.
[4] 罗承斌, 陈鸣, 田唯. 苏通大桥索塔钢锚箱制造几何

控制[J]. 中外公路, 2008 (05) :110-113.
[3] 车平, 孙立雄, 钱叶祥. 舟山西堠门跨海大桥锚箱制造技术和变形控制[J]. 工业建筑, 2007, S1:1128-1130, 1079.

作者简介：李峰等，中铁山桥集团有限公司钢结构技术部。

MW 20161025