

石油化工（煤化工）两器衬里施工技术及预算编制

俞 心

中石化第十建设有限公司 山东 青岛 266555

【摘要】石油化工、煤化工关键设备的衬里，是生产单位装置安全平稳运行的核心要素，是施工单位预算编制的难点。本文简要介绍主要装置衬里的施工技术，以及预算编制需要注意的问题，做到不漏项、不漏量，保证经济效益。

【关键词】衬里；施工技术；预算编制

1 两器应用简介

两器是石油化工（煤化工）行业催化裂化装置、催化裂解装置、煤制烯烃（MTO）装置的核心设备。催化裂化装置是石油炼制的主要装置，主要生产汽油、柴油、煤油等，原料为重质油；催化裂解装置是重质油裂解制烯烃的主要装置，主要生产丙烯等低碳烯烃，原料是重质油；煤制烯烃（MTO）装置是煤化工装置的主要装置，主要生产烯烃，原料是甲醇。

近几年来，我公司施工的包含两器设备的典型装置有青岛炼化工程 290 万吨 / 年催化裂化装置、神华包头 60 万吨 / 年煤制烯烃（MTO）装置、中海油大榭石化重质油裂解制烯烃项目 220 万吨 / 年催化裂解（DCC）联合装置、中煤榆林 60 万吨 / 年煤制烯烃（MTO）装置、中安联合煤化工 180 万吨 / 年煤制烯烃（MTO）装置等十几套。

2 两器的构成

2.1 狭义：两器包括再生器、沉降器；

2.2 广义：包括再生器、沉降器、三级旋风分离器、提升管、斜管、烟道、大油气线等。

3 两器衬里介绍

3.1 包含范围 再生器壳体、沉降器壳体、两器内件、三级旋风分离器、提升管、斜管、能量回收烟道、热工烟道、大油气线等；

3.2 预算费用：目前承建的典型装置两器衬里规模，施工费用都在 1200 万元～1800 万元之间，单向费用大，占整个装置安装施工费的 8%～10%，费用占比大；

3.3 工作内容：主要包括内壁喷砂（抛丸）除锈、锚固钉安装、龟甲网安装、衬里施工。

4 衬里定额介绍：

4.1 喷砂除锈：分为纯设备内壁金属面喷砂、带龟甲网设备内壁喷砂、带钩钉设备内壁喷砂三种形式。

定额号	定额名称	单位	基价	其中		
				人工费	材料费	机械费
1 9-36	喷砂除锈 喷石英砂 设备 Φ 1000mm以下 内壁	10m ²	248.83	58.76	26.04	164.03
2 9-37	喷砂除锈 喷石英砂 设备 Φ 1000mm以下 外壁	10m ²	163.61	36.15	26.04	101.42
3 9-38	喷砂除锈 喷石英砂 设备 Φ 1000mm以上 内壁	10m ²	208.42	51.79	23.17	133.46
4 9-39	喷砂除锈 喷石英砂 设备 Φ 1000mm以上 外壁	10m ²	144.19	35.83	23.17	85.19
27 9-62	喷砂除锈 喷石英砂 带钩钉金属面	10m ²	320.20	93.47	29.43	197.30
28 9-63	喷砂除锈 喷石英砂 带龟甲网设备内表面	10m ²	447.12	141.48	29.43	276.21
29 9-64	喷砂除锈 喷石英砂 单片龟甲网	10m ²	343.32	116.76	29.26	197.30
30 9-65	喷砂除锈 喷石英砂 端板及零星板	10m ²	762.68	179.94	30.31	552.43

4.2 锚固件安装：分为碳钢、不锈钢两种，两器衬里锚固钉材质一般为为不锈钢；

定额号	定额名称	单位	基价	其中		
				人工费	材料费	机械费
1 1-188	合金钢锚固件安装 钉头端板 Φ 12/6 $\times$ 50 $\times$ 50	100组	158.39	27.87	96.6	33.92
2 1-189	合金钢锚固件安装 V型钉头 Φ 6	100个	94.69	16.32	58.41	19.96
3 1-190	合金钢锚固件安装 V型钉头 Φ 8	100个	169.93	29.46	103.88	36.59
4 1-191	合金钢锚固件安装 Ω 型钉头 Φ 6	100个	284.73	39.01	139.57	106.15
5 1-192	合金钢锚固件安装 Ω 型钉头 Φ 8	100个	444.75	77.63	274.76	92.36
6 1-193	合金钢锚固件安装 Y型钉头 2 $\times$ 10	1000个	352.24	128.98	68.63	154.63
7 1-194	合金钢锚固件安装 不锈钢侧拉环 与器壁焊接	100个	496.32	58.52	279.12	158.68
8 1-195	合金钢锚固件安装 不锈钢侧拉环 带立杆与器壁焊接	100个	164.64	33.44	97	34.20

4.3 龟甲网安装：分为碳钢、不锈钢两种，两器衬里龟甲网材质一般为为不锈钢；

定额号	定额名称	单位	基价	其中		
				人工费	材料费	机械费
1 1-200	合金钢龟甲网与器壁焊接 逐孔焊接	m ²	353.65	142.12	59.62	151.91
2 1-201	合金钢龟甲网与器壁焊接 隔孔焊接	m ²	230.49	94.75	32.31	103.43
3 1-202	合金钢龟甲网与端板焊接 锚固钉 (数量个/m ²) 16	m ²	158.78	70.46	21.33	66.99
4 1-203	合金钢龟甲网与端板焊接 锚固钉 (数量个/m ²) 25	m ²	199.16	76.04	50.23	72.89

4.4 衬里：《工业窑炉砌筑工程》第二章不定型耐火材料，适用于两器设备衬里的各种浇注料、捣打料、可塑料的耐火隔热施工。两器衬里适用定额主要为钢纤维增强衬里浇注料、人工涂抹耐火浇注料。

- 6. 工业炉窑砌筑工程
 - 1. 炉窑砌筑
 - 2. 不定形耐火材料
 - 1. 现浇耐火浇注料
 - 2. 现浇隔热浇注料
 - 3. 钢纤维增强衬里浇注料
 - 4. 机械喷涂轻质耐火浇注料
 - 5. 机械喷涂重质耐火浇注料
 - 6. 人工涂抹耐火浇注料
 - 7. 耐火可塑料、耐火捣打料
 - 8. 密闭式炉壳耐火(隔热)浇注料内衬
 - 9. 现场预制耐火(隔热)浇注料制品
 - 10. 耐火(隔热)预制块安装
 - 3. 耐火纤维
 - 4. 辅助项目

4.5 钢纤维增强衬里浇注料:

	定额号	定额名称	单位	基价	其中		
					人工费	材料费	机械费
1	6-127	钢纤维增强衬里浇注 $\delta > 100\text{mm}$	m ³	1002.91	576.45	225.31	201.15
2	6-128	钢纤维增强衬里浇注 $\delta < 100\text{mm}$	m ³	1357.78	758.38	392.28	207.12

4.6 人工涂抹耐火浇注料:

	定额号	定额名称	单位	基价	其中		
					人工费	材料费	机械费
1	6-159	人工涂抹轻质耐火浇注料 $\delta = 50\text{mm}$	10m ²	695.90	536.24	71.85	87.81
2	6-160	人工涂抹轻质耐火浇注料 $\delta = 74\text{mm}$	10m ²	1030.34	793.81	106.56	129.97
3	6-161	人工涂抹轻质耐火浇注料 每增减10mm	10m ²	132.78	100.72	14.57	17.49
4	6-162	人工涂抹重质耐火浇注料 $\delta = 26\text{mm}$	10m ²	414.08	326.04	37.25	50.79
5	6-163	人工涂抹重质耐火浇注料 $\delta = 50\text{mm}$	10m ²	797.24	627.01	72.77	97.46
6	6-164	人工涂抹重质耐火浇注料 每增减10mm	10m ²	152.64	118.24	14.91	19.49
7	6-165	人工涂抹高耐磨料衬里 $\delta = 20\text{mm}$	10m ²	1125.57	976.54	28.73	120.30
8	6-166	人工涂抹高耐磨料衬里 $\delta = 26\text{mm}$	10m ²	1179.46	1009.18	37.7	132.58
9	6-167	人工涂抹高耐磨料衬里 每增减10mm	10m ²	465.45	390.54	14.51	60.40

5 定额有关说明

5.1 当人工涂抹掺有钢纤维的不定型耐火浇筑材料时, 定额人工费乘以系数 1.2;

5.2 在内径小于 2 米的设备内部人工涂抹不定型耐火浇筑材料时, 定额人工费乘以系数 1.18;

5.3 设备安装就位后平斜顶再衬里时, 定额人工费、机械费乘以系数 1.35; 管道安装就位后再衬里时, 定额人工费、机械费乘以系数 1.2;

5.4 超高作业降效增加费的计取, 以设计标高正付零为基准, 安装高度超过 40 米时, 超过部分的定额人工

费、机械费乘以系数 1.3;

5.5 脚手架搭拆费按砌筑量 500m³ 以内、500 m³ ~ 2000 m³、2000 m³ 以上三个步距分别计取。

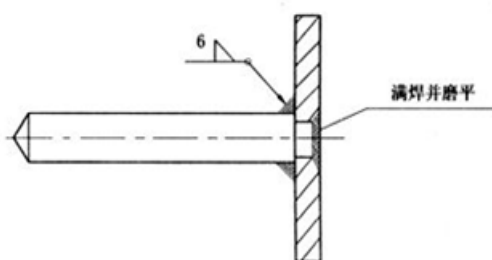
6 衬里施工技术介绍

6.1 两器金属面除锈:

两器设备金属面处理应采用喷砂(抛丸)除锈, 局部也可采用动力工具除锈。采用喷砂除锈, 锚固件应在除锈前焊接; 采用动力工具除锈时, 锚固件应在除锈后焊接。

6.2 锚固件安装:

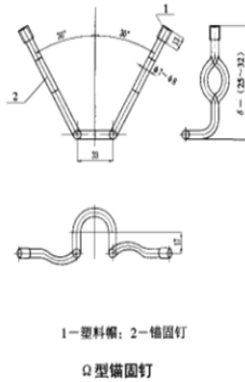
6.3 钉头端板: 也叫柱型锚固钉, 主要用在沉降器壳体、烟道, 为有龟甲网双层隔热耐磨衬里使用。



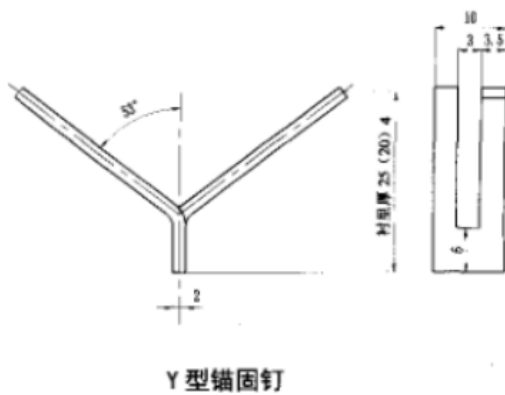
柱型锚固钉与端板双面焊示意



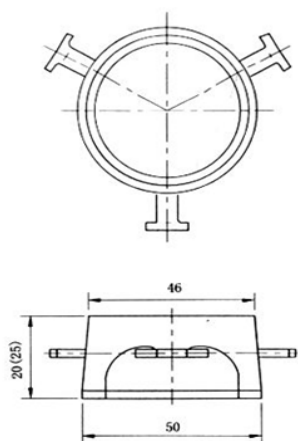
6.4 Ω 型锚固钉：主要用于再升器壳体、再升器至三旋烟道，为无龟甲网单层衬里使用。



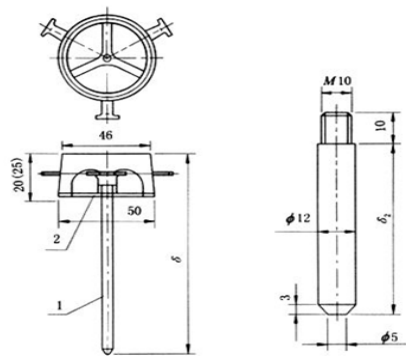
6.5 Y 型锚固钉：主要用于两器内件、能量回收烟道，为无龟甲网单层衬里使用。



6.6 侧拉环型：主要用于异型结构部位，主要用在斜管、能量回收烟道。



单层侧拉型圆环（环帽）



1—柱型螺栓；2—环帽；

δ —隔热耐磨衬里总厚度； δ_1 —衬里总厚度减环帽厚度

双层侧拉型圆环

6.7 锚固钉用量：锚固钉的用量主要参考施工验收规范，具体见下表。

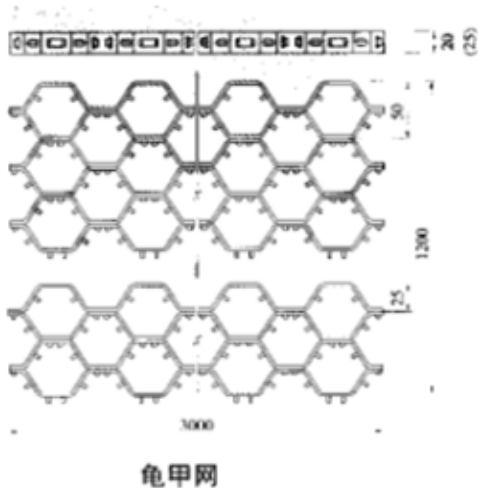
表1 柱型、Ω型及Y型锚固钉用量

锚固钉类型	使用部位	衬里总厚度 δ mm	间距 a mm	用量 个/m ²
柱型	筒体、封头、过渡段及直径较大的开孔接管	≤ 100	250	16
		> 100	200	25
Ω型	卧式筒体、顶封头、过渡段（上下大）及开口接管	任意	150	45
	立式筒体、过渡段（上下小）及底封头	任意	200	25
Y型	异形结构部位	≤ 25	40	625

表2 侧拉型圆环锚固钉用量

部 位	单 层		双 层	
	间距 a mm	用量 个/m ²	间距 a mm	用量 个/m ²
直径大于3m筒体	80	181	120	80
直径小于或等于3m筒体	90	143	100	115
异形及开口接管处	80	181	100	115

6.8 龟甲网安装：规格一般为1200mm×3000mm，具体按设计要求；



6.9 器壁焊接：龟甲网直接与设备金属面焊接固定。

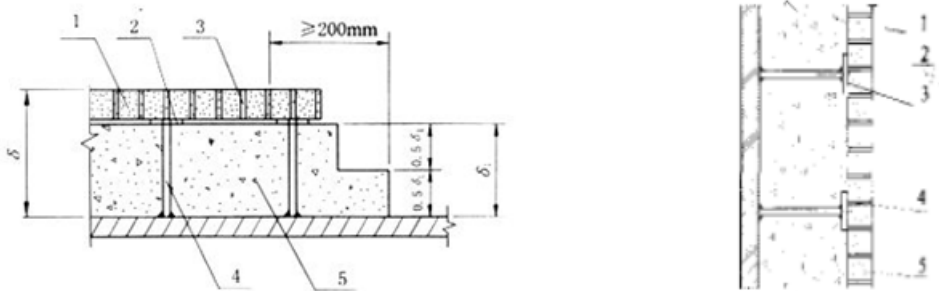


6.10 端板焊接：龟甲网与柱形钉端板焊接固定的安装形式。



7 衬里施工

7.1 有龟甲网隔热耐磨双层衬里：

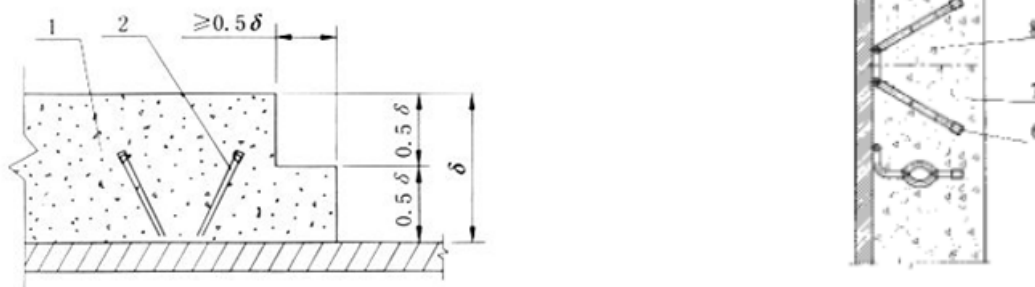


龟甲网双层隔热耐磨衬里

采用手工捣制的方法进行施工，隔热层采用橡皮锤捣打密实，耐磨层为填满龟甲网网孔，采用铁锤捣实。

7.2 无龟甲网 Ω 型锚固钉隔热耐磨单层衬里：

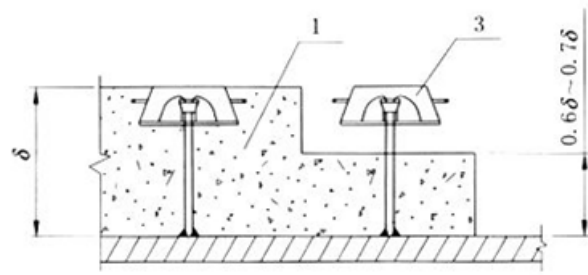
可采用支模浇筑、手工捣制、机械喷涂的方法进行施工。常规采用支模浇筑方式，模板采用钢模板；局部无法支模部位采用手工捣制；喷涂由于材料损耗大，且粉尘污染大，在特定环境下才采用。



无龟甲网单层隔热耐磨衬里

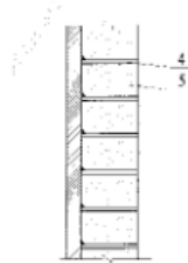
7.3 侧拉环形隔热耐磨单层衬里:

施工采用手工捣制施工方法,用橡皮锤捣打密实。



7.4 有龟甲网耐磨 / 高耐磨单层衬里:

采用手工捣制的方法进行施工,耐磨层为填满龟甲网网孔,用铁锤捣实。



龟甲网单层高耐磨衬里

7.5 衬里结构的选择: 具体参照施工验收规范规定。

3.5 衬里结构的选择

3.5.1 下列设备和管道的衬里结构宜采用无龟甲网单层隔热耐磨衬里:

- a) 第一再生器;
- b) 第二再生器;
- c) 烧焦罐、脱气罐;
- d) 外取热器;
- e) 提升管Y型部位;
- f) 三级旋风分离器。

3.5.2 下列设备和管道及两器附件的衬里结构宜采用龟甲网双层隔热耐磨衬里:

- a) 冷壁旋风分离器;
- b) 烟气孔板降压器;
- c) 烟道;
- d) 斜管;
- e) 冷壁料腿;
- f) 双动滑阀、单动滑阀等。

3.5.3 下列设备的衬里结构优先采用龟甲网双层隔热耐磨衬里,也可采用无龟甲网单层隔热耐磨衬里:

- a) 反应(沉降)器;
- b) 提升管反应器。

3.5.4 两器下列附件的衬里结构宜采用龟甲网单层高耐磨衬里:

- a) 热壁旋风分离器;
- b) 热壁稀相管;
- c) 热壁料腿;
- d) 工况与a)、b)、c)类似的其他部位。

3.5.5 下列高气速冲刷部位的衬里结构宜采用无龟甲网单层高耐磨衬里:

- a) 空气分布管或分布板;
- b) 热电偶套管等。

7.6 衬里混凝土性能指标:

混凝土类别	混凝土级别	热面温度 ℃	体积密度 kg/m ³	耐压强度 MPa	抗折强度 MPa	线变化率 %	导热系数 W/m·K	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	常温 耐磨性 cm ³
高耐磨	A级	110	≤3100	≥80.0	≥10.0	—	—	≥90	≤1.0	≤6
		540	≤2950	≥80.0	≥10.0	—	—			
		815	≤2950	≥80.0	≥10.0	0~-0.25	≤1.50			
耐磨	B1级	110	≤2500	≥60.0	≥8.0	—	—	≥50	≤2.5	≤12
		540	≤2450	≥50.0	≥7.0	—	—			
		815	≤2450	≥50.0	≥7.0	0~-0.2	≤0.90			
	B2级	110	≤2300	≥40.0	≥6.0	—	—			
		540	≤2250	≥30.0	≥5.0	—	—			
		815	≤2250	≥30.0	≥5.0	0~-0.2	≤0.80			
隔热耐磨	C1级	110	≤1800	≥40.0	≥7.0	—	—	≥36	≤3.0	≤18
		540	≤1750	≥35.0	≥6.0	—	0.45~0.55			
		815	≤1750	≥35.0	≥5.0	0~-0.2	0.50~0.59			
	C2级	110	≤1600	≥35.0	≥5.0	—	—	≥30	≤5.0	≤20
		540	≤1550	≥30.0	≥4.0	—	0.35~0.42			
		815	≤1550	≥25.0	≥3.0	0~-0.2	0.40~0.49			
	C3级	110	≤1400	≥20.0	≥3.0	—	—			
		540	≤1350	≥15.0	≥2.5	—	0.26~0.35			
		815	≤1350	≥15.0	≥2.5	0~-0.2	0.34~0.40			
隔热	D1级	110	≤1100	≥8.0	≥2.5	—	—	—	—	—
		540	≤1050	≥7.0	≥2.0	—	≤0.25			
		815	≤1050	≥7.0	≥1.5	0~-0.2	≤0.28			
	D2级	110	≤1000	≥7.0	≥2.0	—	—			
		540	≤950	≥6.0	≥1.5	—	≤0.23			
		815	≤950	≥6.0	≥1.5	0~-0.2	≤0.25			

注1: 导热系数按平板法测试。
注2: 性能指标为未掺入钢纤维时测定值。

8 预算编制介绍

8.1 再生器:

(1) 工程量介绍: 无龟甲网 Ω 型锚固钉隔热耐磨单层衬里, 掺钢纤维, 厚度为 120mm, 体积 348m³ (面积 2900m²), Ω 型锚固钉 58500 个 (Φ7), 施工方式为支模浇筑; 。

8.2 注意事项:

- (1) 超高费, 包含除锈、锚固钉、衬里;
- (2) 施工方式为支模浇筑;
- (3) 脚手架系数;
- (4) 喷砂除锈方式, 按照施工方案、规范选择对应的定额子目;
- (5) 封头翻个所用的吊车、人工应通过签证确认;

8.3 定额计算:

8.4 沉降器:

分部分项工程预(结)算书

[工程名称]				第 1 页 共 1 页									
定额 编号	分部分项工程名称	计量 单位	工程量	单位价值					总价值				
				主材费	小计	其中			主材费	合计	其中		
						人工费	材料费	机械费			人工费	材料费	机械费
9-62	喷砂除锈 喷石英砂 带钩钉金属面	10m2	290		320.20	93.47	29.43	197.30		92858.00	27106.30	8534.70	57217.00
	石英砂	m3	116	680.00					78880.00	78880.00			
6-127	碳纤维增强衬里浇注 δ >100mm	m3	348		1002.91	576.45	225.31	201.15		349012.6	200604.6	78407.88	70000.20
1-192	合金钢锚固件安装 Ω型钉头 Φ8	100个	585		444.75	77.63	274.76	92.36		260178.7	45413.55	160734.6	54030.60
	[乙供主材合计]								78880.00				
	[定额基价合计]								78880.00	780929.4	273124.4	247677.1	181247.8
1-	脚手架搭拆费(2017)(2017脚手架搭拆费(第1册设备安装)(人工的24.78%,其中人工40%))									11252.88	4501.15	6189.09	562.64
6-	脚手架搭拆费(2017)(2017脚手架搭拆费(第6册工业炉窑砌筑,500m3<砌筑工程量≤2000m3)(人工的61.93%,其中人工40%))									124268.0	49707.21	68347.41	6213.40
9-	脚手架搭拆费(2017)(2017脚手架搭拆费(第9册刷油)(人工的46.02%,其中人工40%))									12473.67	4989.47	6860.52	623.68
	[直接工程费合计]								78880.00	928924.0	332322.2	329074.2	188647.5
	[本页小计]								78880.00	928924.0	332322.2	329074.2	188647.5

(1) 工程量介绍: 有龟甲网隔热耐磨双层衬里, 厚度为 120mm (隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 2000m², 龟甲网 2000m², 柱型锚固钉 45000 个, 施工方式为手工捣制方法;

8.5 注意事项:

- (1) 超高费, 包含除锈、锚固钉、衬里;
- (2) 人工涂抹轻质耐火浇注料与人工涂抹重质耐火浇注料的定额区分, 耐磨浇注料与高耐磨浇注料的定额区分;

解释 1: 常规隔热衬里都是轻质, 即密度 ≤ 1300 公斤 / m^3 ; 特殊情况要看领料单, 大榭隔热衬里材料的密度是 1400 元 / m^3 , 可以按重质计算。

申请单号	物资编号	物资名称	规格型号
CKSQ2016031545	61886	隔热衬里	D02 级, 1400kg/ m^3

解释 2: 定额只有人工涂抹高耐磨料衬里子目, 而实际施工衬里有耐磨衬里和高耐磨衬里之分, 区别也是密度。从施工方式上耐磨与高耐磨都是在龟甲网上进行填充, 施工方式及效率相同, 因此全部套用人工涂抹高耐磨料衬里子目。

(3) 局部特殊部位使用高耐磨衬里, 掺钢纤维, 增加系数;

(4) 龟甲网定额子目的选择, 衬里厚度大于 100mm, 端板焊接为 25 个 / m^2 ;

(5) 脚手架系数;

(6) 喷砂除锈方式, 按照施工方案、规范选择对应的定额子目;

(7) 封头翻个所用的吊车、人工应通过签证确认;

8.6 定额计算:

9 两器内件

9.1 工程量介绍: 主要包括提升管、旋风分离器、料腿、脱气罐、外取热器、辅助燃烧室等内件及附属设备, 衬里按设计要求, 常规为衬里完成后随设备到现场。

9.2 注意事项: 内件局部接口需零星衬里, 应通过签证方式进行证明;

10 烟道

包含能量回收烟道、再升器至三旋烟道、四级旋风分离器出口管线、热工烟道、大油气线。

10.1 工程量介绍: 由于烟道种类多, 功能不同, 衬里形式也多种多样。

10.2 有龟甲网隔热耐磨双层衬里, 厚度为 120mm(隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 5200 m^2 , 龟甲网 5200 m^2 (端板焊接), 柱型锚固钉 104940 个, 施工方式为手工捣制方法;

10.3 有龟甲网高耐磨单层衬里, 主要是膨胀节、蝶阀等部位; 厚度为 20mm, 面积 300 m^2 , 龟甲网 300 m^2 (器壁焊接), 施工方式为手工捣制方法;

10.4 侧拉环形隔热耐磨单层衬里, 厚度为 120mm(隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 1500 m^2 , 侧拉环锚固钉 98000 个, 施工方式为手工捣制方法;

10.5 注意事项:

(1) 超高费, 包含除锈、锚固钉、衬里;

(2) 施工方式为人工涂抹;

(3) 烟道内径小于 2000mm, 人工涂抹不定型耐火

材料时, 定额人工费乘以系数 1.18;

(4) 当人工涂抹掺有钢纤维的不定型耐火材料时, 定额人工费乘以系数 1.2 ;

(5) 人工涂抹轻质耐火浇注料与人工涂抹重质耐火浇注料的定额区分;

(6) 龟甲网定额子目的选择, 衬里厚度大于 100mm, 端板焊接为 25 个 / m^2 ;

(7) 有龟甲网高耐磨单层衬里, 龟甲网与器壁焊接形式;

(8) 脚手架系数;

(9) 侧拉环锚固钉安装形式;

(10) 喷砂除锈方式;

(11) 烟道衬里翻个, 吊车及人工应办理签证确认。

10.6 定额计算

10.7 斜管

10.7.1 工程量介绍:

(1) 有龟甲网隔热耐磨双层衬里, 厚度为 120mm(隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 256 m^2 , 龟甲网 256 m^2 (端板焊接), 柱型锚固钉 5000 个, 施工方式为手工捣制方法;

(2) 有龟甲网高耐磨单层衬里, 主要是膨胀节、蝶阀等部位; 厚度为 20mm, 面积 97 m^2 , 龟甲网 97 m^2 (器壁焊接), 施工方式为手工捣制方法;

(3) 侧拉环形隔热耐磨单层衬里, 厚度为 120mm(隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 45 m^2 , 侧拉环锚固钉 5400 合, 施工方式为手工捣制方法;

(4) 注意事项: 与烟道相同

(5) 定额计算: 与烟道相同

10.8 三旋

(1) 工程量介绍: 有龟甲网隔热耐磨双层衬里, 厚度为 120mm(隔热衬里 100mm, 耐磨衬里 20mm), 面积 2000 m^2 , 龟甲网 2000 m^2 , 柱型锚固钉 45000 个, 施工方式为手工捣制方法;

(2) 注意事项: 与沉降器相同。

(3) 定额计算: 与沉降器相同。

11 结语

定额的编制一般与同期的设计、施工规范相配套, 对于定额解释不明确的, 一定要查阅规范, 从规范中了解定额编制时所考虑的施工条件及施工步骤, 以此来研究透定额, 做到不漏项、不漏价、有依据。

【参考文献】

[1] 石油化工行业安装工程预算定额(2007 版)及相应调整文件.

[2] 工业炉窑砌筑工程施工及验收规范(GBJ211-87).