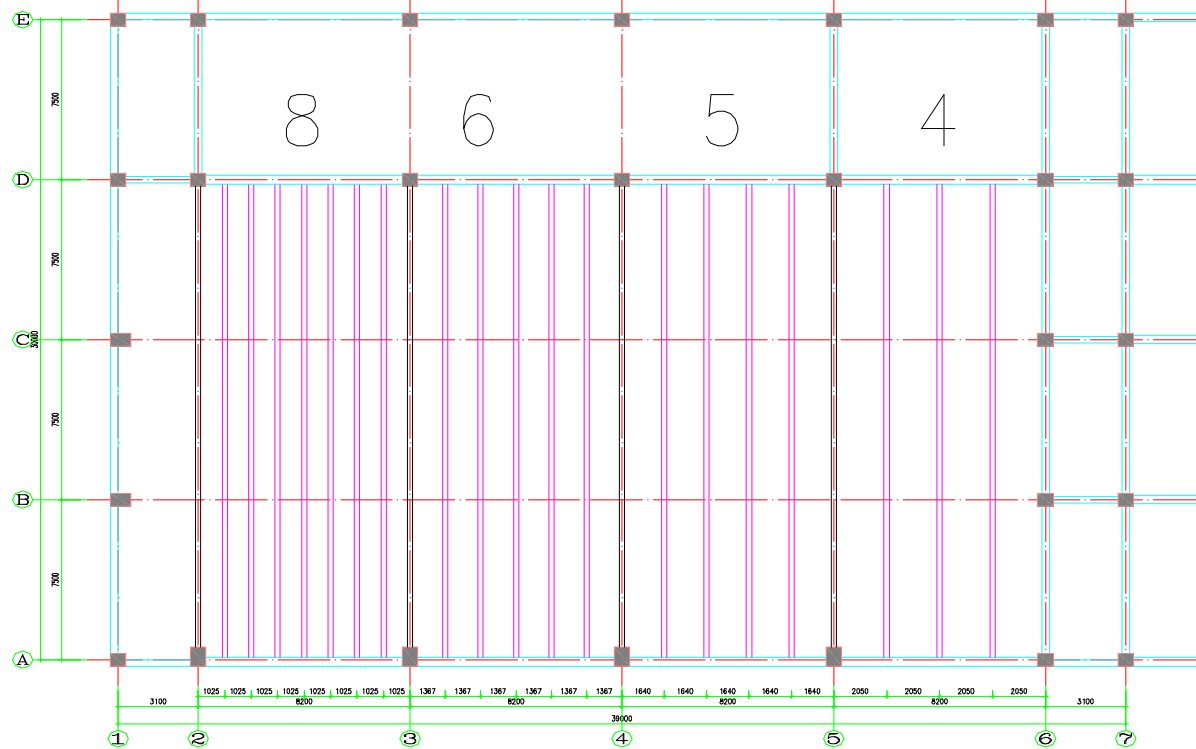


某操场屋面密肋板经济性设计讨论

某操场的屋盖结构平面如图 1 所示，环境类别为一类。不上人屋面活荷载标准值为 0.5kN/m^2 ，屋盖拟采用现浇钢筋混凝土单向板密肋梁形式，试按照下图 1 所示，布置六种不同数量的密肋梁（图中所示四种），对其进行设计，在保证适用的情况下选择最经济的结构布置方案。



屋面平面布置图

图 1 屋盖结构平面布置图

1、设计资料

(1) 屋面做法：20 厚水泥砂浆防水层，20 厚泥砂浆，50 厚陶粒，20 厚水泥砂浆，70 厚挤塑聚苯板保温层，10 厚找平层，80 厚钢筋混凝土板。

(2) 材料：混凝土强度 C25；梁内受力纵筋：HRB335，其他为 HRB235 钢筋。

2、屋盖的结构平面布置

单向密肋梁与通过柱的主梁连接，柱子布置在屋盖的四周。主梁的跨度 8.2m（纵向），7.5m（横向），密肋梁跨度 22.5m，主梁每跨内按六种设计方案分别布置 2、3、4、5、6、8 根密肋梁，按单向板设计，板厚取 80mm。

密肋梁计算跨度（按中间跨）： $l_0 = 1.05l_n = 23310 \text{ mm}$ ，密肋梁截面高度 h 按照方案不同取值，密肋梁截面高宽比 $h/b = 1.8 \sim 2.8$ ，截面宽 b 取 200 mm。

3、计算结果如图 2-图 7 所示：

密肋将区间等分八份			每份	1025	mm	8	份					
可变荷载控制:												
梁恒荷载设计值:	12.0114	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38 kN/m ²					
梁活荷载设计值:	0.7175	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5 kN/m ²					
荷载总设计值:	12.7289	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	4.4895 kN/m					
h0:	940	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	5.52 kN/m					
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43 MPa					
梁腹板厚 h_w :	860	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300 mm					
跨中弯矩设计值:	864.540683	kN·m										
支座剪力设计值:	148.35533	kN										
抗弯计算:												
鉴别类型:	$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$		=	1467.18	kN·m							
			大于	864.540683	kN·m							
			属于第一类T形梁									
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.04801521								
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.04922685								
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.97538657								
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	3143.1098	mm ²	实配	7根圆25 3436 mm ²					
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	150	净跨	22200	单根钢筋长度(mm)	22350	钢筋密度(kg/mm ³)	0.00000785	一根梁中纵筋总质量(kg)	551.4507566	8根梁梁中纵筋总质量(kg)	4411.606053
架立筋						按构造配置纵筋面积的25%		3根梁梁中架立筋总质量(kg)		1102.901513		
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	172	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200 面积为200 mm ²		8根梁梁中腰筋总质量(kg)		282.5			
抗剪计算:												
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	188.188	kN	大于	支座剪力设计值	148.3553295	kN	仅需构造配筋			
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	A_{sv1}	=	49.0285714	mm ²		
	实配2肢箍:	圆 8 @ 300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配筋率	中箍筋总质量(kg)	491.064	箍筋周长mm	2100	
								箍筋数量密度(kg/mm)	592	0.000395		
钢材总质量	6.2880716	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价格	35842.00793	元				
砼总体积	37.296	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价格	18648	元				
			单跨内8根梁钢材+砼总价:		54490.00793	元						

图 2 密肋将区间等分八份——区间内梁造价

密肋将区间等分6份			每份			1367	mm	6	份			
可变荷载控制:												
梁恒荷载设计值:	13.808952	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38	kN/m ²	密肋梁高 h :	1000	mm	
梁活荷载设计值:	0.9569	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5	kN/m ²	密肋梁宽 b :	200	mm	
荷载总设计值:	14.765852	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	5.98746	kN/m	箍筋肢数 n :	2		
h_0 :	940	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	5.52	kN/m	弹性模量 E :	30	kN/mm ²	
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43	MPa	截面惯性矩 I :	2.6E+10	mm ⁴	
梁腹板厚 h_w :	860	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300	mm	挠度:	73.3189	mm	
									容许挠度:	77.7	mm	
跨中弯矩设计值:	1002.88947	kN·m										
支座剪力设计值:	172.096005	kN										
抗弯计算:												
鉴别类型:	$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$		=	1467.18	kN·m							
			大于	1002.88947	kN·m							
				属于第一类T形梁								
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.05569888								
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.05734299								
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.97132851								
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	3661.32119	mm ²	实配	6根圆25+2根圆22	3703	mm ²			
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	150	净跨	22200	单根钢筋长度(mm)	22350	钢筋密度(kg/mm ³)	0.00000785	一根梁中纵筋总质量(kg)	642.369649	6根梁梁中纵筋总质量(kg)	3854.217894
架立筋									按构造配置纵筋面积的25%		3根梁梁中架立筋总质量(kg)	963.5544735
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	172	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200	面积为200	mm ²				6根梁梁中腰筋总质量(kg)	282.5
抗剪计算:												
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	188.188	kN	大于	支座剪力设计值	172.0960051	kN	故仅需构造配筋			
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	A_{sv1}	=	49.0285714	mm ²		
	实配2肢箍:	圆8@300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配筋率		中箍筋总质量(kg)	368.298	箍筋周长mm	2100
									箍筋数量/度(kg/mm)	444	0.000395	
钢材总质量	5.4685704	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价格	31170.85109	元				
砼总体积	27.972	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价格	13986	元				
						单跨内6根梁钢材+砼总价:	45156.85109	元				

图3 密肋将区间等分六份——区间内梁造价

密肋将区间等分5份			每份	1640	mm	5	份	
可变荷载控制:								
梁恒荷载设计值:	15.96384	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38 kN/m ²	
梁活荷载设计值:	1.148	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5 kN/m ²	
荷载总设计值:	17.11184	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	7.1832 kN/m	
h_0 :	1040	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	6.12 kN/m	
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43 MPa	
梁腹板厚 h_w :	960	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300 mm	
跨中弯矩设计值:	1162.22783	kN·m						
支座剪力设计值:	199.438495	kN						
弹性模量E 30 kN/mm ²								
截面惯性矩I: 3.4E+10 mm ⁴								
挠度: 64.2124 mm								
容许挠度: 77.7 mm								
抗弯计算:								
鉴别类型:	$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$			=	1630.2	kN·m		
				大于	1162.22783	kN·m		
	属于第一类T形梁							
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.05273193				
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.0542008				
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.9728996				
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	3828.85263	mm ²	实配	8根圆25 3925 mm ²	
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	150	净跨	22200	单根钢筋长度(mm)	22350	钢筋密度(kg/mm ³)	0.00000785
							一根梁中纵筋总质量(kg)	671.7626221
							5根梁中纵筋总质量(kg)	3358.81311
架立筋							按构造配置纵筋面积的25%	
								5根梁中架立筋总质量(kg)
								839.7032776
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	192	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200	面积为200	mm ²	
								5根梁中腰筋总质量(kg)
								282.5
抗剪计算:								
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	208.208	kN	大于	支座剪力设计值	199.4384952	kN
								故仅需构造配筋
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	A_{sv1}	= 49.0285714 mm ²
	实配2肢箍:	圆 8 @ 300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配箍率	中箍筋总质量(kg)
								336.145
								箍筋周长mm
								2300
								箍筋数量
								圆8密度(kg/mm)
								370
								0.000395
钢材总质量	4.8171614	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价格	27457.81991	元
砼总体积	25.641	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价格	12820.5	元
						单跨内5根梁钢材+砼总价:	40278.31991	元

图 4 密肋将区间等分五份——区间内梁造价

密肋将区间等分4份			每份			2050	mm	4	份						
可变荷载控制:															
梁恒荷载设计值:	18.1188	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38	kN/m ²	密肋梁高 h :	1100	mm				
梁活荷载设计值:	1.435	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5	kN/m ²	密肋梁宽 b :	200	mm				
荷载总设计值:	19.5538	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	8.979	kN/m	箍筋肢数 n :	2					
h_0 :	1040	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	6.12	kN/m	弹性模量 E :	30	kN/mm ²				
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43	MPa	截面惯性矩 I :	3.4E+10	mm ⁴				
梁腹板厚 h_w :	960	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300	mm	挠度:	73.3758	mm				
									容许挠度:	77.7	mm				
跨中弯矩设计值:	1328.08456	kN·m													
支座剪力设计值:	227.899539	kN													
抗弯计算:															
鉴别类型:															
$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$	=	1630.2	kN·m												
		大于	1328.08456	kN·m											
			属于第一类T形梁												
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.06025709											
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.06219095											
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.96890453											
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	4393.29281	mm ²	实配	4根圆25+4根圆28	4424	mm ²						
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	150	净跨	22200	单根钢筋长度(mm)	22350	钢筋密度(kg/mm ³)	0.00000785	一根梁中纵筋总质量(kg)	770.7922405	4根梁中纵筋总质量(kg)	3083.168962			
架立筋									按构造配置纵筋面积的25%		1根梁中架立筋总质量(kg)	770.7922405			
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	192	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200	面积为200	mm ²				4根梁中腰筋总质量(kg)	282.5			
抗剪计算:															
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	208.208	kN	小于	支座剪力设计值	227.899539	kN	配筋提供的剪力满足						
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	A_{sv1}	=	49.0285714	mm ²					
	实配2肢箍:	圆8@300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配筋率	中箍筋总质量(kg)	268.916	箍筋周长mm	2300	箍筋数量	圆8密度(kg/mm)	296	0.000395
钢材总质量	4.4053772	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价	25110.65006	元							
砼总体积	20.5128	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价	10256.4	元							
			单跨内4根梁钢材+砼总价:		35367.05006	元									

图5 密肋将区间等分四份——区间内梁造价

密肋将区间等分3份			每份	2733	mm	3	份
可变荷载控制:							
梁恒荷载设计值:	22.428648	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38 kN/m ²
梁活荷载设计值:	1.9131	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5 kN/m ²
荷载总设计值:	24.341748	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	11.97054 kN/m
h ₀ :	1140	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	6.72 kN/m
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43 MPa
梁腹板厚 h_w :	1060	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300 mm
跨中弯矩设计值:	1653.27966	kN·m					
支座剪力设计值:	283.703073	kN					
抗弯计算:							
鉴别类型:	$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$		=	1793.22	kN·m		
			大于	1653.27966	kN·m		
	属于第一类T形梁						
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.06242891			
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.06450965			
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.96774517			
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	4995.2727	mm ²	实配	8根圆28 4923 mm ²
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	净跨	单根钢筋长度(mm)	钢筋密度(kg/mm ³)	一根梁中纵筋总质量(kg)	3根梁梁中纵筋总质量(kg)	
	150	22200	22350	0.0000785	876.4081068	2629.224321	
架立筋	按构造配置纵筋面积的25%					3根梁梁中架立筋总质量(kg)	
						657.3060801	
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	212	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200 面积为200 mm ²	3根梁梁中腰筋总质量(kg)	
						282.5	
抗剪计算:							
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	228.228	kN	小于	支座剪力设计值	283.7030729 kN 配筋提供的剪力满足
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	$A_{sv1} = 49.0285714$ mm ²
	实配2肢箍:	圆 8 @ 300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配筋率
						中箍筋总质量(kg)	箍筋周长mm 箍筋数量 圆8密度(kg/mm)
						219.225	2500 222 0.000395
钢材总质量	3.7882554	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价格	21593.05578 元
砼总体积	16.7832	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价格	8391.6 元
	单跨内3根梁钢材+砼总价:						29984.65578 元

图 6 密肋将区间等分三份——区间内梁造价

密肋将区间等分2份			每份			4100	mm	2	份															
可变荷载控制:																								
梁恒荷载设计值:	31.7736	kN/m	梁计算跨度 l_0 :	23310	mm	屋面恒荷载标准值:	4.38	kN/m ²	密肋梁高 h :	1500	mm													
梁活荷载设计值:	2.87	kN/m	梁翼缘宽度 b_f' :	1425	mm	屋面活荷载标准值:	0.5	kN/m ²	密肋梁宽 b :	200	mm													
荷载总设计值:	34.6436	kN/m	α_1 :	1		板传荷载标准值:	17.958	kN/m	箍筋肢数 n :	2														
h_0 :	1440	mm	C30混凝土 f_c :	14.3	MPa	密肋梁自重:	8.52	kN/m	弹性模量 E :	30	kN/mm ²													
板厚 h_f' :	80	mm	335钢筋 f_y :	300	MPa	C30混凝土 f_t :	1.43	MPa	截面惯性矩 I :	8.4E+10	mm ⁴													
梁腹板厚 h_w :	1360	mm	235钢筋 f_y :	210	MPa	箍筋间距 s :	300	mm	挠度:	53.0827	mm													
											容许挠度:	58.275	mm											
跨中弯矩设计值:	2352.976423	kN·m																						
支座剪力设计值:	403.771158	kN																						
抗弯计算:																								
鉴别类型:																								
$\alpha_1 f_c b_f' h_f' (h_0 - 0.5 h_f')$	=	2282.28	kN·m																					
		大于	2352.97642	kN·m																				
属于第一类T形梁																								
α_s	=	$M / \alpha_1 f_c b_f' h_0^2$	=	0.05568544																				
ξ	=	$1 - (1 - 2\alpha_s)^{0.5}$	=	0.05732874																				
γ_s	=	$0.5 \times [1 + (1 - 2\alpha_s)^{0.5}]$	=	0.97133563																				
A_s	=	$M / f_y \gamma_s h_0$	=	5607.43836	mm ²	实配	6根圆28+4根圆25	5655	mm ²															
纵筋质量计算	支座锚固长度(6d)	150	净跨	22200	单根钢筋长度(mm)	22350	钢筋密度(kg/mm ³)	0.00000785	一根梁中纵筋总质量(kg)	983.8110419	2根梁梁中纵筋总质量(kg)	1967.622084												
架立筋	按构造配置纵筋面积的25%											2根梁梁中架立筋总质量(kg)	491.9055209											
纵向构造钢筋	$\geq 0.1\% \cdot b \cdot h_w$	=	272	mm ²	两侧实配2根圆8, 间距200	面积为200	mm ²						2根梁梁中腰筋总质量(kg)	282.5										
抗剪计算:																								
混凝土提供剪力:	$V = 0.7ftbh_0$	=	288.288	kN	小于	支座剪力设计值	403.771158	kN	配筋提供的剪力满足															
筋最小配筋率:	ρ_{sv}	=	0.00163429	=	$n \cdot A_{sv1} / b_s$	则	A_{sv1}	=	49.0285714	mm ²														
实配2肢箍:											圆 8 @ 300	A_{sv1}	=	50.24	mm ²	满足最小配筋率	中箍筋总质量(kg)	181.226	箍筋周长mm	3100	箍筋数量	148	圆8密度(kg/mm)	0.000395
钢材总质量	2.9232536	吨	钢材单价	5700	元/吨	钢材总价格	16662.54555	元																
砼总体积	13.986	m ³	砼单价	500	元/m ³	砼总价格	6993	元																
						单跨内2根梁钢材+砼总价:	23655.54555	元																

图7 密肋将区间等分两份——区间内梁造价

结构笔记 刘浩 孙艳坤 <http://www.s-notes.cn>

结构博客 徐珂 <http://www.jiegoublog.cn>

4、小结：

由上述密肋梁不同的布置方案可知，在仅保证配筋率以及梁的挠度情况下，在区间内配置梁数量与梁总造价成正比，但是随着配置梁数量的减少，必然会导致梁截面增加，在仅配置两根梁的图 7 中可以看出，梁高需达到 1500mm 才满足挠度要求。

通过以上不完全统计，可以在今后的梁设计中，对于如何在满足各项要求的情况下，将造价控制在最低，起到一定的借鉴作用。